THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE CAEN

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Jacques BERMOND

1re THÈSE. — SUR QUELQUES PROPRIÉTÉS DES ÉMULSIONS NUCLÉAIRES. (ETUDE DU VOILE ET DE LA DIFFUSION PARASITE)

2e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 12 Juin 1961 devant la Commission d'examen.

MM. M. SCHERER ..... *Président*
M. MORAND, *Professeur à la Sorbonne*
C. MABBOUX-STROMBERG ..... *Examinateurs*
J. SALMON .....

CAEN

Société d'Impressions CARON & Cie

34, Rue Demolombe

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE CAEN

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Jacques BERMOND

1re THÈSE. — SUR QUELQUES PROPRIÉTÉS DES EMULSIONS NUCLÉAIRES. (ETUDE DU VOILE ET DE LA DIFFUSION PARASITE)

2e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 12 Juin 1961 devant la Commission d'examen.

MM. M. SCHERER ..... *Président*
M. MORAND, *Professeur à la Sorbonne*
C. MABBOUX-STROMBERG ..... *Examinateurs*
J. SALMON .....

CAEN

Société d'Impressions CARON & Cie

34, Rue Demolombe

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE DES SCIENCES

MM.	LOZAC'H	*Doyen*, Professeur (Chimie).
	DANGEARD	Professeur (Géologie).
	SCHERER	Professeur (Physique Générale).
	APERY	Professeur (Calcul Différentiel et Intégral).
	JACQUET	Professeur (Microbiologie).
	BOCQUET	Assesseur, Professeur (Zoologie).
	COLOMBANI	Professeur (Physique).
Mme	WALTER-LÉVY	Professeur (Chimie).
MM.	PITOT	Professeur (Botanique).
	CAMPBELL	Professeur (Mécanique rationnelle)
	BACHELET	Professeur (Chimie).
	MALLIAVIN	Professeur (Mathématiques).
	VIALLE	Professeur (Chimie).
	COJAN	Professeur (Physique).
	PALLU DE LA BARRIÈRE	Professeur (Mathématiques).
	PHAM	Professeur (Mathématiques).
	GIACOMO	Professeur (Physique).
	REY	Professeur (Zoologie).
	MONIER	Professeur (Minéralogie).
	CONIA	Professeur (Chimie).
	PAREYN	Professeur (Géologie).
	BINET	Professeur sans chaire (Botanique).
	ROMANET	Maître de Conférences (Chimie).
	DOGUET	Maître de Conférences (Biologie Végétale).
	CABANNES	Maître de Conférences (Physique).
	RYBAK	Maître de Conférences (Physiologie Animale).
	MABBOUX-STROMBERG	Maître de Conférences (Physique).
	GIRAULT	Maître de Conférences (Mathémat.).
	SCHAAL	Maître de Conférences (Chimie).
	NATAF	Maître de Conférences (Mathémat.).
	THUREAU	Maître de Conférences (Electronique).
	GEFFROY	Maître de Conférences (Mathémat.).
	BARRAT	Maître de Conférences (Physique).
	BERNARD	Maître de Conférences (Chimie).
	LEGROS	Maître de Conférences (Physique).
	GAULT	Maître de Conférences (Chimie).
	SALMON	Maître de Conférences (Physique).
Mlle	DEMEUSY	Maître de Conférences (Biologie).
MM.	MOLLIER	Maître de Conférences (Chimie).
	PINAZZI	Maître de Conférences (Chimie).
	GRAF	Maître de Conférences (Physique).
	KAUFFMANN	Maître de Conférences (Microbiol.).
Mme	CONNES	Maître de Conférences (Physique).
M.	CAUCAL	*Secrétaire Principal des Facultés.*

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

A MON MAÎTRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR SCHERER

Hommage de profonde reconnaissance.

INTRODUCTION

1. — Problèmes posés par le traitement des émulsions nucléaires épaisses

Le traitement des émulsions pour recherches nucléaires soulève, lorsque l'épaisseur de la couche sensible dépasse une centaine de microns, un certain nombre de difficultés. Les deux principales sont relatives à l'uniformité du développement en profondeur et à la déformation des traces de particules enregistrées.

Si l'on passe en revue les principaux paramètres utilisés pour l'étude des traces, on peut les classer en deux groupes. Dans le premier groupe interviennent directement les grains développés qui forment la trace. On considère par exemple la densité de grains (nombre de grains développés par unité de longueur) ou de paquets de grains. On peut aussi considérer les lacunes (intervalles entre deux grains) qui interviennent par leur longueur.

La grosseur des grains peut également jouer un rôle ; c'est le cas dans l'étude de traces de particules fortement ionisantes sur lesquelles le dénombrement des grains devient impossible ; on mesure alors la largeur des traces, soit directement sous le microscope, soit par des méthodes photométriques.

Dans le deuxième groupe, on envisage surtout des angles. On peut déterminer, soit un angle moyen de diffusion coulombienne multiple, soit l'angle formé par deux traces issues d'un même centre, soit un angle de déviation.

On peut également être amené à mesurer un rayon de courbure dans le cas d'une exposition en présence d'un champ magnétique.

Pour être comparables entre eux et permettre une mesure après étalonnage, les paramètres envisagés dans le 1er groupe demandent un développement uniforme dans toute l'épaisseur. Quant aux paramètres du 2^{e} groupe, ils ne sont utilisables que dans la mesure où la trace reproduit le trajet de la particule.

Le problème de l'uniformité du développement est purement photographique ; il est lié aux révélateurs et à leurs conditions d'utilisation. Le problème de la déformation des traces est plus complexe car elle peut intervenir, non seulement au cours du développement proprement dit, mais aussi et surtout au cours des opérations complémentaires (fixage, lavage, séchage) pendant lesquelles la gélatine subit un gonflement important suivi d'une contraction.

En ce qui concerne l'uniformité du développement, on ne peut attendre un résultat satisfaisant des techniques usuelles de la photographie. Le temps de pénétration du révélateur qui, dans le cas de la photographie ordinaire, est faible par rapport à la durée du bain, prend, pour les émulsions épaisses, une importance primordiale.

La vitesse de pénétration par diffusion décroît très vite avec le temps. On considère (1) que cette décroissance est exponentielle : si a représente la quantité d'eau ou d'une solution étendue absorbée au temps t, A le maximum absorbable par le milieu considéré, on a $da/dt = K(A-a)$ où K est une constante qui dépend de la solution et du milieu imprégné.

La durée de pénétration des différentes solutions dans les émulsions nucléaires a été étudiée par plusieurs auteurs (2), (3) ; leurs résultats s'accordent avec une théorie de la diffusion proposée par P. Demers (4).

Si l'on se réfère aux courbes expérimentales donnant la profondeur atteinte en fonction du temps, établies par A.J. Herz (3), on voit qu'il faut à un révélateur au diaminophénol, en milieu acide, près de 1 h pour parvenir à une profondeur de 400μ et environ 1 h 30 pour 600μ. L'I.D. 19 (révélateur à base de métol et d'hydroquinone) demanderait, pour atteindre ces profondeurs, 2 h 30 et 5 h respectivement.

Dans ces conditions, si l'on plonge une émulsion de 400μ par exemple, dans un bain révélateur normalement actif, il y aura une différence de l'ordre de 1 h dans les temps de développement entre les couches supérieures et les couches profondes, s'il s'agit du diaminophénol. Il en résultera un surdéveloppement en surface qui risque encore d'être aggravé par le fait que les couches profondes seront atteintes par des produits partiellement usés, alors que le révélateur neuf continuera à diffuser dans les parties supérieures.

2. — Méthodes de traitement des émulsions nucléaires épaisses

Différentes méthodes ont été proposées pour résoudre la difficulté qui vient d'être signalée :

La première, qui a donné des résultats satisfaisants pour les émulsions épaisses, après celle proposée par Yagoda (5) pour les émulsions de faible épaisseur, est due à Dilworth, Occhialini et Payne (6). Les détails de cette technique ont été précisés par Dilworth, Occhialini et Vermaesen (7). Elle repose sur le fait que les révélateurs photographiques sont peu actifs à basse température.

Le chlorhydrate de diaminophénol (Amidol) a été reconnu comme étant l'agent révélateur donnant les meilleurs résultats pour les émul-

sions d'épaisseur égale ou supérieure à 400μ. L'I.D. 19 (métol, hydroquinone) est également employé pour les émulsions de moins de 400μ d'épaisseur.

L'émulsion est plongée dans le révélateur refroidi (4° à 5°) après une imprégnation d'eau distillée froide qui, en gonflant la gélatine, favorise la diffusion du révélateur en la rendant plus rapide et plus homogène. La durée de ces bains varie avec l'épaisseur. Pendant cette première phase, la vitesse de développement étant faible, le révélateur doit parvenir aux couches profondes en ayant conservé toute son activité et sans que les parties superficielles aient été notablement développées. L'activité du révélateur peut d'ailleurs être encore réduite par addition d'acide borique et de bromure de potassium.

Le développement proprement dit a lieu dans une seconde phase où intervient un réchauffement. Deux solutions sont alors possibles : on peut, soit réchauffer le bain contenant la plaque, soit réchauffer la plaque seule. La seconde solution a été longtemps préférée, la première entraînant la diffusion d'un excès de révélateur par la surface, d'où surdéveloppement des couches superficielles. Mais pour des raisons matérielles, dans le traitement des grandes quantités de plaques, on utilise (8) le stade chaud liquide en prenant certaines précautions.

Dans le cas du réchauffement à sec, la plaque photographique est retirée du bain et, après un léger essorage pour enlever l'excès de révélateur en surface, elle est placée sur une plaque métallique bonne conductrice de la chaleur, dans une enceinte maintenue à température constante, variable avec le degré de développement souhaité, lequel conditionne également la durée de ce réchauffement. Le développement est ensuite arrêté par un refroidissement suivi d'un bain dans une solution étendue d'acide acétique à froid.

Des modes de traitement reposant sur le même principe et différant sur quelques points, notamment sur la formule du révélateur, ont été proposés par plusieurs auteurs : Dainton, Gattiker et Lock (2) préconisent l'emploi d'un révélateur à l'Amidol sans bromure de potassium de *p*H 7,2 et d'un révélateur à l'Amidol additionné de bisulfite de sodium de *p*H 6,7.

Stiller, Shapiro et O'Dell (9) indiquent un révélateur à l'Amidol acidifié par l'acide borique de *p*H 6,6. Ces auteurs conseillent de plus un effacement, avant exposition, des traces et du voile parasite par action de la vapeur d'eau suivant le mode opératoire d'abord recommandé par Wiener et Yagoda (10) pour les émulsions Ilford C_2 et par Albouy pour les émulsions G5 (11). Cette action de la vapeur d'eau a d'ailleurs été contestée (12) et l'effacement attribué à des traces de chlore contenues dans l'eau utilisée.

L'Amidol bisulfité est également recommandé par Herz (13) et Marguin (14) qui considèrent cette formule de *p*H 6.6 comme donnant les meilleurs résultats relativement à l'uniformité du développement en profondeur.

Par contre, A. Bonnet (15) suggère un révélateur à base de pyrogallol et d'hydroquinone expérimenté sur des émulsions Ilford C_2. La longue période d'induction du pyrogallol et sa bonne pénétration favorisent l'uniformité du développement.

La technique décrite par Dixit (16) se différencie des précédentes par le fait qu'elle utilise un révélateur au génol rendu faiblement basique par addition de bicarbonate de sodium et que le réchauffement s'effectue en deux temps, d'abord hors du révélateur et ensuite dans le révélateur.

Enfin, dans la méthode appliquée par Wilson et Wanselow à des émulsions Kodak N.T.B (17) et par Hauser à des émulsions A.G.F.A K_2 (18), le réchauffement s'effectue dans le révélateur dilué.

Tous les procédés de traitement des émulsions nucléaires précédemment cités reposent sur le principe de la diffusion du révélateur à basse température suivi d'un réchauffement au cours duquel le développement a lieu.

Signalons un moyen de chauffage homogène de l'émulsion humide par induction créée par des courants de haute fréquence dans une bobine (19).

Des techniques de développement homogène sans variation de température ont été proposées :

Blau et de Felice (20) indiquent un traitement à température constante en deux bains successifs. Le premier contient le révélateur (métol, hydroquinone) et le sulfite sans alcali ; il est donc peu actif du fait de son faible *p*H. Le second contient tous les éléments nécessaires à un développement normal avec un léger accès d'alcali. Le développement se ferait essentiellement sous l'action de ce second bain. Ce procédé expérimenté par les auteurs sur des émulsions Ilford C_2 jusqu'à 200μ d'épaisseur serait applicable à des émulsions plus épaisses.

Bernet et Chastel (21) utilisent la faible activité d'un révélateur à bas *p*H pour obtenir un développement homogène par un traitement de courte durée. Ces auteurs reprennent un procédé proposé par Balagny (22) suivant lequel l'Amidol en milieu acide commence à développer la face de l'émulsion en contact avec le verre, le développement se propageant ensuite vers la surface sans d'ailleurs l'atteindre. Cette particularité était alors mise à profit pour sauver des clichés surexposés. Des émulsions Ilford C_2 ont été traitées par un révélateur à l'Amidol acidifié par l'acide chlorhydrique. Le *p*H est

ajusté à une valeur inférieure à celle où commence le développement. L'émulsion ayant un *p*H élevé, celui du révélateur s'accroit au cours de la pénétration et son activité augmente. On peut espérer ainsi un développement uniforme. La durée d'action du révélateur est plus faible sur les couches profondes que sur les couches superficielles, compte tenu de la pénétration, mais son activité y est plus grande. La différence de durée d'action peut être compensée par un accroissement de la vitesse de révélation.

Herz a reconnu la possibilité d'un développement homogène à basse température si la vitesse de développement est faible par rapport à la vitesse de pénétration.

C'est une méthode reposant sur ce principe qu'indiquent Fox et Waniek (23) pour le traitement d'émulsions sans support. Le révélateur est l'I.D. 19 dilué de trois fois son volume d'eau et utilisé à 4°, l'émulsion reposant sur une grille de tissu qui permet une pénétration par les deux faces.

La technique recommandée par Demers (24) se différencie de la précédente par le fait que l'émulsion est suspendue verticalement dans un révélateur à base de chlorohydroquinone à une température comprise entre 0° et 2°.

Yagoda (25) a utilisé un développement isotherme à 5° avec un révélateur à l'Amidol, tamponné par un mélange en proportions variables de sulfite et de bisulfite de sodium ; dans ce cas l'uniformité est obtenue par réglage du *p*H des bains successifs. Cette méthode isothermique a été améliorée (26) et est applicable aux pellicules et aux plaques.

La technique de développement isotherme proposée par Marguin (27) pour des pellicules épaisses, est également basée sur une suite de bains révélateurs de *p*H différents.

Cette possibilité de développement isotherme homogène à 5°, 10° et 15° a été également mentionnée par Judek (28).

3. — Le voile

Lorsqu'on examine au microscope une émulsion nucléaire traitée, on aperçoit en dehors des traces, un grand nombre de grains noirs qui constituent le voile de fond. Les origines de ce voile sont très complexes. Il faut distinguer le voile photographique qui existe dans toutes les émulsions et le voile « gamma ».

Voile photographique :

Le voile photographique dépend de l'émulsion et du traitement qu'elle a subi (1), (29) et (30).

En ce qui concerne l'émulsion, les germes de voile peuvent résulter de l'action catalytique du sulfure d'argent formé au cours de la préparation et qui se comporte comme un centre d'image latente. Il existe, dans les émulsions très sensibles, des grains spontanément développables. Les conditions de précipitation du bromure d'argent interviennent et la proportion de gélatine alors présente influe sur la tendance de l'émulsion au voile.

Le voile peut dépendre de la maturation subie par l'émulsion et dans certains cas, une maturation prolongée peut donner moins de voile qu'une autre plus brève.

Les causes de voile peuvent se trouver dans la gélatine qui contient des aldéhydes et des glucides qui sont des réducteurs (31).

L'âge des émulsions peut jouer un rôle, ainsi que les conditions dans lesquelles elles ont été conservées. Un séjour prolongé à température élevée constitue une nouvelle maturation.

Une partie du voile est due au développement ; Nietz (1) a proposé une classification des révélateurs suivant leur pouvoir voilant. Celui-ci est fonction du *p*H et pour chaque développateur, il existe une valeur du *p*H de part et d'autre de laquelle le voile est plus intense. Dans la classification de Nietz, le diaminophénol donne une densité maximum de voile de 1,30 avec un alcali contre 0,70 sans alcali. (Il s'agit ici de densité photographique).

La teneur en sulfite influe sur la densité du voile ; pour un révélateur à l'hydroquinone par exemple, cette densité est maximum pour une concentration moléculaire de 1/160. Cette influence a été également reconnue (32) dans les émulsions nucléaires pour un révélateur à l'Amidol.

On mentionne aussi en photographie un autre type de voile, le « voile dichroïque » qui consiste presque entièrement en argent métallique déposé dans la gélatine par l'action du réducteur sur les sels d'argent dissous dans l'émulsion par le solvant contenu dans le bain révélateur.

Un phénomène semblable se produit lors du traitement des émulsions nucléaires à la surface desquelles se forme un dépôt, parfois important, d'argent colloïdal. Mais il semble que, dans ce cas, l'oxydation de l'air joue un rôle puisqu'on peut notablement atténuer ce phénomène en effectuant le développement en présence d'azote (7), (14). Il est même vraisemblable que l'action de l'air intervient avant le traitement. Nous avons en effet constaté que des émulsions Ilford G5, coulées sur un support de verre, conservées ainsi et détachées du support immédiatement avant d'être plongées verticalement dans un révélateur à l'Amidol, présentaient un dépôt d'argent

beaucoup plus important sur la face qui était restée en contact avec l'air que sur celle qui avait été protégée par le support.

Cette action de l'air avant traitement trouve une confirmation dans le fait qu'on peut diminuer le voile superficiel en frottant légèrement la surface de l'émulsion imprégnée d'eau distillée, ce qui revient à enlever, avant l'action du révélateur, une mince couche d'émulsion.

D'autres causes de voile peuvent intervenir localement, par exemple des irrégularités dans le séchage (33).

On a remarqué que les bords des plaques photographiques présentaient en général des densités supérieures à celles obtenues dans la région centrale. Cette augmentation locale de sensibilité est attribuée à une migration, au cours du séchage de l'émulsion coulée sur son support, des ions Br qui jouent un rôle stabilisateur. Il y a peut-être dans ce phénomène une explication du fait que les plaques nucléaires traitées par la vapeur d'eau, en vue de l'effacement des traces enregistrées, se révèlent par la suite plus sensibles sur les bords (34), ce traitement comportant un nouveau séchage.

Voile des émulsions nucléaires :

On retrouve dans les émulsions nucléaires les différentes causes de voile signalées précédemment, mais elles prennent une importance plus grande du fait de la forte teneur en bromure d'argent. L'étude d'émulsions G5 diluées (35) a montré que la densité de voile diminue avec la concentration en bromure d'argent.

A ce voile photographique s'ajoute, dans les émulsions nucléaires, un autre type de voile connu sous le nom de « voile gamma ». Ce voile gamma résulte de l'action du rayonnement gamma sur l'émulsion, mais il comprend aussi des grains voilés par l'action d'électrons de radioactivité ou des grains de traces partiellement effacées.

Si le voile photographique dépend uniquement de l'émulsion et de son traitement, le voile gamma dépend de l'exposition. Et dans la plupart des cas d'utilisation (radioactivité, rayonnement cosmique, accélérateurs), les émulsions nucléaires sont soumises à un rayonnement parasite qui peut être intense.

Il est difficile de faire dans le « fond » d'une émulsion la part des voiles photographique et γ. Il faut toutefois remarquer que, dans la préparation des émulsions nucléaires, toutes les précautions ont été prises pour qu'elles donnent peu de voile chimique.

Quelle que soit son origine, le voile constitue, pour l'exploitation des plaques nucléaires, une gêne importante. Sa trop grande densité

rend difficile la recherche des traces et l'identification de certains phénomènes.

Coates (36) et Berrimann (37) ont les premiers recherché comment une bonne visibilité des traces était liée à la densité du voile. Le premier a montré que cette visibilité était conditionnée par le rapport d/D^2 (D étant la densité de grains sur la trace, et d la densité de voile en grains par unité de surface).

Une expression plus complète de la visibilité d'une trace a été proposée (32). Elle est définie par le coefficient $K = \dfrac{L_g \cdot \delta_t}{D_v \cdot \delta_v^2}$

δ_t : diamètre d'un grain de la trace.
δ_v : diamètre d'un grain de voile.
D_v : densité de voile (nombre de grains par unité de volume).

$$L_g = \frac{100}{L_t} \left\{ L_t - (L_1 + \Lambda l) \right\}$$

L_t : longueur de trace.
L_1 : longueur totale des lacunes.
Λl : longueur des grains de voile sur la trace.

Le voile peut être une cause d'incertitude dans certaines mesures : densité de grains, longueur de lacune, longueur de trace (38).

4. — Travaux sur le voile des émulsions nucléaires

Il n'existe que peu de publications sur le problème particulier du voile dans les émulsions nucléaires.

Coates (36) avait suggéré l'existence d'un rapport constant entre le carré de la densité de grains des traces au minimum d'ionisation et la densité de voile. Cette proportionnalité a été également signalée par Dodd et Waller (35), mais elle n'est confirmée que pour des densités de voile assez faibles (3).

Herz (13), (3) a comparé quantitativement le comportement des deux révélateurs les plus utilisés : l'I.D. 19 et l'Amidol bisulfité du point de vue des densités de voile et de grains pour les traces au minimum. Ses expériences ont porté sur des émulsions Ilford G5 de 200 μ et 400 μ développées suivant la technique de Dilworth, Occhialini et Payne. Le révélateur était l'I.D. 19 pour les émulsions de 200 μ et l'Amidol pour celles de 400 μ. Le réchauffement s'effectuait dans le révélateur pour les premières et hors du révélateur pour les secondes. L'auteur a remarqué, en ce qui concerne le voile, que sa densité devenait très grande lorsqu'on prolongeait le développement

avec l'I.D. 19 ; par contre, cet accroissement est beaucoup moins marqué avec le diaminophénol. Il a d'autre part constaté que, pendant la période d'imprégnation à froid, la vitesse de développement du voile est notable et il a conclu que la densité formée pendant cette période dans les couches supérieures de l'émulsion ne devait pas dépasser 0,4 et 0,5 grains par 1 000 μ^3 pour que le développement soit uniforme.

Au cours de son travail sur la sensibilité des émulsions Kodak NT 4 de 200 μ et sur les conditions de visibilité des traces, Coates (36) a étudié la variation de la densité du voile avec la profondeur entre 6 et 78 μ. Il a constaté que, dans le cas d'un traitement en deux températures avec un révélateur au métol, la densité de voile décroit de la surface vers le fond. Cette décroissance est d'autant plus marquée que le développement est prolongé.

Cette variation de la densité du voile avec la profondeur a été également signalée par Alvial (42) qui a comparé à ce point de vue différentes techniques de développement : celles de Blau et de Felice ; Dainton, Gattiker et Lock (Azol et métol, hydroquinone) et celle de Wilson et Wanselow. Les premières donnent des densités de voile qui décroissent à partir de la surface. Dans la dernière, par contre, le voile devient légèrement plus dense quand la profondeur croît. Le même auteur a étudié l'influence de la température d'exposition (43) et indiqué que le nombre de grains voilés dans les émulsions Kodak N.T.A., N.T.B. et N.T.B. 3 est maximum à 60° et présente un maximum secondaire à 30°.

Dans une étude sur les émulsions Agfa K_2, Hauser (18) observe la variation de la densité du voile en profondeur jusqu'à 82μ dans un développement à 5° pour un révélateur à l'Amidol de *p*H 7,05. Les densités de voile sont utilisées par cet auteur pour rechercher un développement uniforme à l'aide d'un réchauffement dans un révélateur dilué.

Fatzer (32), utilisant des émulsions Ilford G5 et un révélateur à l'Amidol, étudie l'influence, sur le voile, de quelques paramètres du traitement : la température de développement, la teneur en sulfite de la solution révélatrice et le temps de développement à chaud. Il détermine dans différents cas les variations du diamètre des grains de voile et des grains des traces, les densités de grains de voile et de grains des traces et la répercussion de ces deux facteurs sur la visibilité des traces.

Ahmad et J. Demers (44) ont étudié pour des émulsions formules N^{os} 19 et 21, dans un développement à la chlorohydroquinone à froid, la variation du diamètre et des densités de grains de voile en fonction de la durée du développement.

5. — Buts et plan du travail

Il nous a semblé intéressant d'entreprendre une étude du voile dans les émulsions Ilford G5 traitées par des révélateurs à l'Amidol de différents *p*H.

Le diaminophénol a été choisi comme étant le révélateur reconnu le plus favorable au traitement des émulsions épaisses et parce qu'il conserve son pouvoir réducteur dans une gamme de *p*H étendue en milieu acide.

D'autre part, le *p*H est un facteur important dans l'emploi d'un révélateur photographique. Il conditionne, non seulement son activité, étant lié au potentiel d'oxydo-réduction (1), mais il joue aussi un rôle dans le gonflement de la gélatine et la vitesse de pénétration (39), (40). Il est de plus connu que le pouvoir voilant des révélateurs dépend du *p*H.

Cette étude a porté, d'une part sur des émulsions traitées uniquement à froid, d'autre part sur des émulsions ayant subi un réchauffement.

La première partie (chapitre I[er]) concernant les traitements à froid se propose un double but :

1° Déterminer les densités de voile formées à différents *p*H et pour différentes durées de développement.

2° Etudier la variation des densités de voile en profondeur.

Les travaux les plus récents semblent orienter la technique des émulsions nucléaires vers des traitements monothermes à basse température. On considère en effet que le réchauffement à sec est à l'origine d'une partie des déformations observées sur les traces. De plus, cette phase du traitement est difficile à conduire de façon rigoureusement uniforme pour de grandes quantités de plaques ou de pellicules.

Dans la plupart des méthodes recommandées, l'uniformité du développement en profondeur est obtenue par réglage du *p*H d'une suite de bains. Nous nous proposons de rechercher si l'uniformité peut être réalisée par un choix judicieux du *p*H du révélateur et par un bain unique en utilisant l'effet Balagny. Une méthode de ce genre serait particulièrement avantageuse pour le traitement des lots importants en limitant le nombre des opérations nécessaires.

D'autre part, les traitements à basse température et à faible *p*H constituent des procédés de sous-développement qui sont reconnus comme favorables à la discrimination des traces de différentes particules. On a même proposé (41), pour une exploitation complète de la sensibilité des émulsions G5, un sous-développement suivi d'un

renforcement. La présente étude devait apporter des renseignements sur le comportement du voile à différents degrés de sous-développement.

Dans la seconde partie (chapitre II), l'étude de plaques développées par la méthode des deux températures permet de préciser l'influence du réchauffement sur les densités de voile et sur l'uniformité du développement.

La troisième partie (chapitre III) est consacrée à l'étude de la cinétique du développement du voile γ à froid et l'on cherche à faire une discrimination entre ce voile et le voile photographique.

Dans la quatrième partie (chapitre IV), on recherche l'influence de quelques paramètres du traitement sur les déformations, particulièrement sur celles qui sont à l'origine du phénomène connu sous le nom de diffusion parasite (spurious scattering) (Biswas, Peters et Rama).

BIBLIOGRAPHIE DE L'INTRODUCTION

1. C.E.K. Mees, *The Theory of the Photographic Process*. New-York, 1952
2. A.D. Dainton, A.R. Gattiker et W.O. Lock, *Phil. Mag.*, 1951, 42, 396.
3. A.J. Herz, *Jl. Sc. Instr.*, 1952, 29, 15.
4. P. Demers, *Canad. Jl. Phys.*, 1958, 36, 704.
5. H. Yagoda, *Radioactive Measurements with Nuclear Emulsion*. New-York, 1949.
6. C.C. Dilworth, G. Occhialini et Payne, *Nature*, 1948, 162, 102.
7. C.C. Dilworth, G. Occhialini et L. Vermaesen, *Bulletin de l'U.L.B.*, 1950, 13 a.
8. J. Heughebaert, A. Igiuni et G. Occhialini, *Photographie Corpusculaire II*. Montréal, 1959, p. 191.
9. B. Stiller, M. Shapiro et F.W. O'Dell, *Rev. Sc. Instr.*, 1954, 25, 340.
10. M. Wiener et H. Yagoda, *Rev. Sc. Instr.*, 1950, 21, 39.
11. G. Albouy, *C. R.*, 1950, 230, 1351.
12. T. Matitsch, C. Matiasek et B. Karlik, *Nature*, 1955, 175, 35.
13. A.J. Herz, *Jl. Sc. Instr.*, 1952, 29, 60.
14. G. Marguin, *Jl. Phys. Rad.*, 1953, 14, 43.
15. A. Bonnet, *Jl. Phys., Rad.*, 1954, 15, 587.
16. K.R. Dixit, *Jl. Sc. Indust. Research* (India), 1952, 11 B, 351.
17. M.J. Wilson et W. Wanselow, *Phys. Rev.*, 1949, 75, 1144.
18. I. Hauser, *Photographie Corpusculaire II*. Montréal, 1959, p. 207.
19. C. Lipetz et F.J. Loeffer, *Rev. Sc. Instr.*, 1953, 24, 999.
20. Blau et de Felice, *Phys. Rev.*, 1948, 74, 1198.
21. A. Bernet et R. Chastel, *Jl. Phys. Rad.*, 1954, 15, 781.
22. Balagny, *Bull. Soc. Franç. Photogr.*, 1912, 3, 198.
23. R. Fox et R.W. Waniek, *Nucleonics*, 1955, 13, 52.
24. P. Demers, *Canad. Jl. Phys.*, 1954, 32, 476.
25. H. Yagoda, *Rev. Sc. Instr.*, 1955, 26, 263.
26. H. Yagoda, *Premier colloque de photographie corpusculaire*. Paris, 1958.
27. G. Marguin, *C. R.*, 1957, 244, 2304.
28. B. Judek, *Nuovo Cimento*, 1960, 16, 834.
29. T.H. James et G.C. Higgins, *Photographic Theory*. New-York, 1949.
30. L.P. Clerc, *La technique photographique*. Paris, 1947. — *Structure et propriétés des couches photographiques*. Paris, 1948.
31. A. Steigmann, *Sc. et Ind. Phot.*, 1950, 21, 2.
32. G.D. Fatzer, *Rev. Sc. Instr.*, 1959, 30, 22.
33. E. Zünd, *Zeits. Wiss. Phot.*, 1954, 49, 25 ; *Sc. Ind. Phot.*, 1954, 25, 394.
34. M. Maitrot et G. Marguin, *Jl. Phys. Rad.*, 1954, 15, 123 ; 1954, 15, 718.
35. E.C. Dodd et C. Waller, *Fundamental Mechanisms of photographic sensitivity*. Londres, 1951.
36. A.C. Coates, *Fundamental Mechanisms of photographic sensitivity*. Londres, 1951.
37. Berrimann. *Fundamental Mechanisms of photographic sensitivity*. Londres, 1951.
38. V.E. Dyke, *Jl. Sc. Instr.*, 1951, 28, 320.
39. E. Piccioto, *Bulletin U.L.B.*, 1951, 4.
40. G. Meulemans et J. Mignone, *Colloque sur la sensibilité des cristaux et des émulsions photographiques*. Paris, 1953.
41. G. Occhialini, *Colloque sur la sensibilité des cristaux et des émulsions photographiques*. Paris, 1953.
42. Alvial, *Nuovo Cimento*, 1953, 10, 1616.
43. Alvial, *Nuovo Cimento*, 1954, 12, 351.
44. I. Ahmad et J. Demers, *Canad. Jl. Phys.*, 1959, 37, 1548.

CHAPITRE PREMIER

Etude du voile dans les émulsions Ilford G5

A. — Expériences préliminaires : Variations avec le pH du révélateur de la densité moyenne de grains de voile dans les 200 premiers microns d'émulsions de 400$_\mu$ et 600$_\mu$

1° *Exposition et traitement des plaques*

Deux lots de plaques nucléaires Ilford G5 de 400$_\mu$ et 600$_\mu$ d'épaisseur ont été exposés pendant 45 jours au Pic du Midi de Bigorre à 2 860 m d'altitude.

Ces plaques ont été développées uniquement à basse température, 3° et 2°5, dans des révélateurs à l'Amidol de *p*H différents.

L'enceinte dans laquelle se sont déroulées toutes les opérations a été construite au laboratoire. Le froid y est produit par un groupe compresseur du type en usage dans les appareils frigorifiques commerciaux, mais elle se différencie de ceux-ci par le fait que le serpentin entoure complètement la cuve refroidie, ce qui présente l'avantage, sur ces derniers, de donner une température plus uniforme dans le volume utile. On y accède par la partie supérieure, ce qui introduit moins de perturbations dans la température qu'une ouverture latérale, lors des manipulations, assez nombreuses, que nécessite le traitement complet. D'autre part, la partie sensible du thermostat est placée dans la cuve et non pas au voisinage du serpentin. Cette disposition permet de maintenir, après un réglage préalable et une durée de fonctionnement assez longue, la température d'un bain constante à moins de 0,1 degré près.

Les différents bains étaient placés dans l'enceinte au moins 12 heures avant le commencement des opérations de développement

ainsi que les plaques devant être traitées. L'Amidol était dissous immédiatement avant son emploi et le dernier filtrage effectué dans la cuve refroidie.

Pour toutes les plaques traitées dans une même série, l'Amidol était de même origine et d'une même livraison, l'état de ce produit de conservation assez difficile pouvant influer sur son activité révélatrice (1).

La formule des différents révélateurs était la suivante :

Amidol	3 g
Bisulfite de sodium.	
(solution de poids spécifique 1,32)	suivant *p*H
Solution de sulfite de sodium.	
(10 g/l de sulfite anhydre)	pour faire 1 l.

Les différents *p*H étaient donc obtenus par variation du rapport des concentrations de sulfite et de bisulfite.

Le *p*H était déterminé par une méthode colorimétrique. La précision est médiocre, mais la forte teneur en ions Na des révélateurs à bas *p*H rendait délicat l'emploi de l'électrode de verre (2).

Traitement des émulsions de 600μ (15 *plaques*) (température 2°5) :

— Trempage à l'eau distillée	durée 3 h
— Bain révélateur de *p*H :	
4,9 ; 6 ; 6,2 ; 6,5 et 7	durée 1 h 30, 2 h et 3 h
— Rinçage à l'eau distillée	durée 10 mn
— Bain d'arrêt (solution d'acide acétique à 1 %)	durée 3 h

Traitement des émulsions de 400μ (5 *plaques*) (température 3°) :

— Trempage à l'eau distillée	durée 1 h 30
— Bain révélateur de *p*H :	
4,9 ; 5,2 ; 5,8 ; 6,1 et 6,4	durée 1 h 30
— Bain d'arrêt (solution d'acide acétique à 1 %)	durée 1 h 30

Fixage : Pour les deux séries, le fixage était commencé à la température du développement. La cuve contenant les plaques et le fixateur était ensuite retirée de l'appareil frigorifique ; le volume important du bain permettait un réchauffement lent jusqu'à la température du laboratoire à laquelle le fixage se poursuivait.

La durée du fixage a été de 48 h et 94 h pour les émulsions de 400μ et 600μ respectivement.

2° *Détermination de la densité des grains de voile dans les 200 premiers microns des émulsions*

Tous les grains noirs, à l'exclusion de ceux appartenant à des traces nettement caractérisées, étaient comptés au microscope. Il se trouvait évidemment parmi ceux-ci des grains isolés, appartenant à des traces d'électrons lents. Les grains formant des amas étaient dénombrés.

Pour éviter autant que possible que l'estimation ne soit systématiquement faussée par l'exploration unique d'une zone accidentellement voilée par des impuretés ou des actions mécaniques, les comptages ont été faits dans plusieurs bandes de la région centrale de la plaque : 30 comptages par plaque pour les émulsions de 600μ et 100 pour celles de 400μ.

Les dénombrements étaient effectués dans le champ limité par un carré du quadrillage d'un oculaire micrométrique. Avec le grossissement utilisé, le carré couvrait une surface de $(10 \times 10)\mu^2$ dans le plan visé.

La mise au point étant faite sur la surface de l'émulsion et la position correspondante de la vis micrométrique de profondeur repérée, on agissait sur cette dernière en notant tous les grains au fur et à mesure qu'ils apparaissaient au point dans le champ, jusqu'à une profondeur égale à la moitié de l'épaisseur des émulsions de 400μ et au 1/3 de celles de 600μ.

Pour tenir compte des variations d'épaisseur dues à celles de l'humidité relative, la détermination de l'épaisseur totale était faite dans la zone étudiée et pour chaque mesure.

Ainsi tous les grains se trouvant dans une colonne de section $100\mu^2$ et de hauteur correspondant à 200μ dans l'émulsion non traitée étaient dénombrés, soit dans un volume de 20 000 μ^3.

Calcul de la densité de grains de voile, en grains pour 10 000μ^3 :

La méthode utilisée est semblable à celle employée pour déterminer la densité de grains d'une trace de particule (3).

Soient N_i le nombre de grains trouvés dans les colonnes successivement explorées. La somme des grains comptés est $N = \Sigma N_i$ et la moyenne par élément de volume de 20 000μ^3 est $m = N/n$, n étant le nombre de comptages.

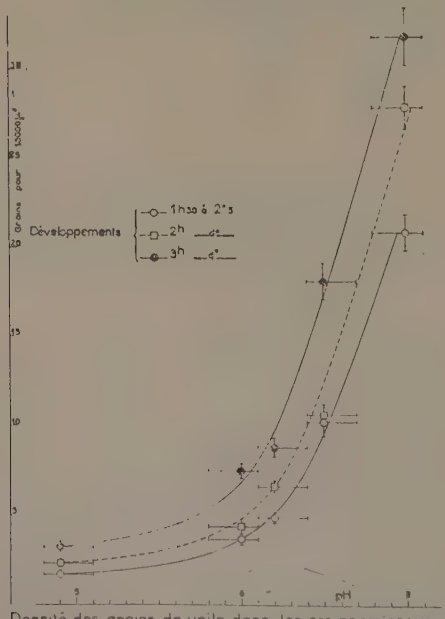
Si d est la densité en grains pour 10 000 μ^3, $d = m/2$. La variance sur le nombre de grains d'un élément de volume est :

$$\sigma^2 = \frac{A}{n-1} \text{ avec } A = \Sigma N^2 - \frac{N^2}{m}$$

et l'erreur standard sur la moyenne : $\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, d'où l'erreur standard sur d : $\frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$

3° *Résultats*

Les densités ainsi déterminées, affectées de l'erreur standard, sont portées sur le graphique de la figure 1 pour les émulsions de 600µ et sur celui de la figure 2 pour celles de 400µ. L'erreur sur le *p*H correspond à la sensibilité de la méthode colorimétrique utilisée.



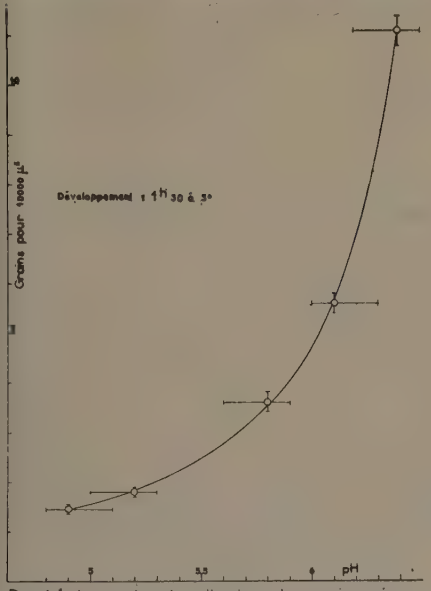
Densité des grains de voile dans les 200 premiers µ d'une émulsion de 600 µ pour différentes valeurs du pH du révélateur et diverses durées de développement

FIGURE : I-1

Les résultats pour les deux séries de plaques sont concordants, bien que les deux lots d'une même fabrication aient été traités séparément à plus de deux mois d'intervalle.

Si l'on compare les résultats obtenus pour les émulsions de 600µ après 1 h 30 de traitement à ceux donnés pour la même durée par celles de 400µ, on constate que ces derniers accusent des densités légèrement supérieures. Cette différence peut s'expliquer par le fait que ces dernières plaques ont été traitées à une température supérieure de 0°5 et 78 jours avant les autres. Mais les différences ne sont

pas significatives, ce qui montre que la durée supplémentaire de conservation n'a pas eu d'influence sensible sur la densité du voile.



Densité des grains de voile dans les 200 premiers μ d'une émulsion de 400 μ pour différentes valeurs du pH du révélateur.

FIGURE : I – 2

Les courbes des figures 1 et 2 montrent qu'au-dessus de *p*H 6, la densité de grains de voile *croît très rapidement avec le* pH. Et la condition de ne pas dépasser, pendant la période d'imprégnation, une densité dé voile de 5 grains pour 10 000μ^3 (4) dans les couches superficielles, pour obtenir un développement uniforme, est difficile à satisfaire. Dans le cas de nos expériences, ce résultat ne peut être obtenu que pour un révélateur de *p*H *très peu supérieur à* 6 et en ne prolongeant pas *au-delà de* 2 *h le séjour des plaques dans le révélateur froid.*

Les résultats précédents sont relatifs à des densités moyennes dans la partie supérieure de l'émulsion. Or il est apparu, au cours des comptages, qu'il existait des variations notables du voile avec la *profondeur* surtout pour les *p*H relativement élevés. Il semblait donc utile d'approfondir cette étude en déterminant les densités formées dans des tranches d'émulsion situées à des profondeurs différentes. De plus, les densités obtenues dans les émulsions de 600μ, pour les différents temps de développement, suggéraient de faire varier plus méthodiquement la durée du séjour dans le bain révélateur.

Il était alors nécessaire de prendre des précautions supplémentaires pour éliminer les variations du voile dues au révélateur, de rechercher une meilleure détermination du *p*H et de modifier la technique du dénombrement, celle qui avait été utilisée s'étant révélée d'une application délicate.

De plus, les plaques étudiées, exposées au Pic du Midi, avaient été soumises à un rayonnement cosmique assez intense pendant 45 jours. Les images latentes formées dès le début de l'exposition

pouvaient avoir subi un certain « fading » et dans ces conditions, tous les grains ne se trouvaient pas, au moment de leur traitement, dans le même état de développabilité. Et on pouvait être amené à compter, comme grains de voile, des grains appartenant en fait à des traces partiellement effacées. Il était donc souhaitable de faire appel à un autre mode d'exposition pour pallier à ces inconvénients.

B. — Densités de grains de voile développés à froid à différentes profondeurs dans les émulsions Ilford G5

1° *Exposition et traitement des plaques*

Un lot de plaques Ilford G5 de 400μ d'épaisseur a été irradié au Bétatron du Commissariat à l'Energie atomique à Villejuif dans les conditions suivantes :

— Energie maximum : 23 Mev
— Absorbeur de graphite : 1,24 m
— Intensité : Maximum du bétatron à cette énergie.
— Temps d'irradiation : temps de montée jusqu'à l'intensité maximum plus 1 seconde à l'intensité maximum.
— Température : 28°.

Pour éviter des variations dans le voile dues à l'émulsion, à sa préparation, à sa durée de conservation, ou à des variations de température, nous avons opéré sur un lot unique.

Les plaques, conservées à 5°, ont été développées 12 jours après l'irradiation. De plus, les résultats qui seront comparés sont relatifs à des plaques traitées dans un intervalle de temps inférieur à 48 h.

Ce mode d'exposition présentait, pour l'étude projetée, un certain nombre d'avantages : les plaques ont été soumises à un flux gamma important mais non excessif étant donné les précautions prises. Le voile γ devait cependant y être prédominant. Tous les grains ont été impressionnés en même temps, ce qui élimine les variations de développement par « fading ».

La formule du révélateur que nous avions utilisé dans les expériences précédemment décrites appelait quelques critiques :

L'emploi du bisulfite de sodium est rendu délicat du fait qu'on ne trouve pas facilement dans le commerce de bisulfite cristallisé donnant des garanties suffisantes de pureté. On trouve, par contre, des solutions de poids spécifique 1,32 environ à 455 g par litre de bisulfite ; leur concentration n'est pas définie avec précision et elles

se conservent difficilement. Il est impossible d'obtenir, à partir de ce produit, des solutions de *p*H reproductible.

L'obtention de bas *p*H demande une concentration assez forte en bisulfite et cette forte teneur en ions Na est nuisible à une détermination précise du *p*H à l'aide de l'électrode de verre (2).

De plus, dans la formule initialement utilisée, la variation de *p*H résultait de la variation des concentrations de sulfite et de bisulfite de sodium ; or la teneur en sulfite de sodium influe sur le pouvoir voilant d'un révélateur. Ce fait, connu pour la photographie ordinaire (5), a été mis en évidence dans le cas des émulsions nucléaires pour des révélateurs à l'Amidol (6) et (7).

La concentration en sulfite a également, dans le cas de l'Amidol, une influence sur le potentiel d'oxydo-réduction (8). En outre, le sulfite de sodium est un solvant du bromure d'argent et en changeant la proportion de sulfite, on risque de modifier la part imputable à un développement physique.

Pour ces raisons, il nous a semblé préférable d'employer un révélateur de teneur constante en sulfite et de faire varier son *p*H par addition d'acide chlorhydrique (9). En partant d'une solution chlorhydrique titrée (normale par exemple), de conservation facile et aisément contrôlable, on peut établir des formules de révélateurs dont le *p*H est reproductible.

Le *p*H était mesuré à 20° à l'aide d'un *p*H-mètre électrostatique à électrode de verre. Plusieurs mesures faites dans différentes conditions, à plusieurs mois d'intervalle, ont montré que l'emploi de l'acide chlorhydrique en solution normale permettait de retrouver, pour une formule donnée, le *p*H à moins de 0,1 unité près.

Cette bonne reproductibilité du *p*H qui dispense d'une mesure à chaque opération de développement est avantageuse. La mesure du *p*H, avec l'étalonnage de l'appareil qu'elle impose, est assez longue, et la mauvaise conservation des révélateurs à l'Amidol commande leur emploi aussitôt que possible après leur préparation.

Le diaminophénol utilisé pour tous les développements était de même origine et d'une même livraison. Il était dissous immédiatement avant son emploi.

Traitement des plaques :

Formule des révélateurs :

— Amidol ..... 3 g
— Sulfite de sodium anhydre ..... 12 g
— Solution chlorhydrique normale ..... suivant *p*H
— Eau distillée pour faire 1 l.

Bain d'arrêt :

— Solution d'acide acétique à 1 %

Fixateur :

— Hyposulfite de sodium	400 g
— Bisulfite de sodium (solution de poids spécifique 1,32)	16 cm³
— Eau	1 l

Mode opératoire du développement à 5° :

Les plaques de 400µ, conservées à 5°, étaient plongées dans l'eau distillée à cette température pendant 1 h 30, puis dans le révélateur à 5° pendant 80 mn, 90 mn, 100 mn et 120 mn suivant les cas.

Le révélateur a été utilisé aux *p*H suivants : 7,1 ; 6,8 ; 6,6 ; 6,4 ; 6,2 ; 6 ; 5,4 et 4.

Les plaques étaient ensuite rincées à l'eau distillée à 5°, puis mises au bain d'arrêt pour une durée uniforme de 1 h 30, rincées de nouveau à l'eau distillée et plongées dans le bain fixateur à 5°.

Au bout de 2 h, la cuve contenant les plaques et le fixateur était retirée de l'enceinte frigorifique ; le volume important du bain assurait un rechauffement lent jusqu'à la température ambiante, 20° environ. Le fixage était poursuivi pendant 30 h avec un renouvellement périodique du bain.

Ce temps de fixage est insuffisant pour des émulsions normalement développées, mais il a été ainsi réduit pour tenir compte de la fragilité des grains sous-développés, en particulier dans le cas de révélateurs à bas *p*H, qui sont très sensibles à l'action dissolvante de l'hyposulfite de sodium (10), (11) et (12).

La dilution du fixateur s'effectuait par un courant d'eau, d'abord très lent, et dont le débit était progressivement accru. Elle était suivie d'un lavage à l'eau courante. La durée totale de ces deux opérations était de 24 h environ.

Le lavage était arrêté lorsque le réactif suivant (13) indiquait, par l'absence de virage, que l'hyposulfite de sodium était complètement éliminé :

Eau distillée	180 cm³
— Permanganate de potassium	0,3 g
Soude	0,6 g
— Eau distillée pour faire	250 cm³

Un glycérinage dans une solution de glycérine à 3 % pendant 2 h terminait le traitement.

Les plaques étaient alors mises au séchage dans une atmosphère d'humidité relative 85 % à la température de 20°, sans ventilation. Le séchage complet dans ces conditions demandait plusieurs semaines.

2° *Dénombrement des grains de voile*

La première méthode utilisée qui consistait à compter tous les grains dans un volume limité par une colonne d'émulsion de $100\mu^2$ de section s'est révélée d'un emploi délicat dès que la densité de grains devient importante. De plus, la faible étendue du champ multipliait les cas ambigus de grains chevauchant ses frontières.

D'autre part, il fallait, pour déterminer la densité de grains à différentes profondeurs, diviser la colonne en tranches, ce qui impliquait d'avoir déterminé la cote de chaque grain compté. Ceci entraînait de sérieuses difficultés et constituait, pour le calcul du volume des tranches considérées, une source d'erreurs difficiles à évaluer.

Dans la suite de ce travail, nous avons opéré de la façon suivante pour évaluer les densités de grains de voile en grains par $1\,000\mu^2$: le champ était délimité par le quadrillage d'un oculaire micrométrique qui, avec le grossissement utilisé, couvrait $4\,900\mu^2$, dans le plan visé.

Les comptages étaient effectués dans des champs séparés et dans trois bandes distinctes de la région centrale de la plaque à raison de 10 comptages par bande. La partie centrale de chaque plaque a été seule retenue pour éviter les perturbations qui interviennent sur les bords : la durée d'action des bains sur les bords peut être modifiée par une pénétration plus rapide. Ce fait, joint à une diffusion plus facile de la solution d'hyposulfite chargée de sels d'argent, augmente le pouvoir dissolvant du fixateur.

Nous avons effectué de cette façon 270 comptages par plaque (32 plaques) ; 30 comptages dans chacun des 9 plans situés aux profondeurs suivantes, rapportées à l'émulsion non traitée : 4μ, 23μ, 47μ, 117μ, 163μ, 212μ, 258μ, 307μ et 353μ.

Des comptages de contrôle effectués dans d'autres régions de la même plaque ou dans une autre plaque traitée de la même façon n'ont pas fait apparaître de différences significatives. La valeur moyenne obtenue dans la première tranche détermine ce que nous appellerons par la suite la densité en surface. Les comptages suivants sont groupés deux à deux ; les moyennes obtenues caractériseront les densités aux profondeurs de 35μ, 140μ, 235μ et 330μ d'émulsion non traitée.

La surface proprement dite a été exclue, les causes accidentelles de voile y étant trop nombreuses. De plus, le dépôt d'argent colloïdal impose un nettoyage de la surface à l'alcool méthylique, qui ne peut présenter les garanties nécessaires de régularité et de reproductibilité.

Calcul de la densité de grains de voile en grains par $1\,000\mu^2$:

Le calcul des densités et des erreurs standards les affectant a été conduit de la même façon que le précédent. La détermination de l'erreur standard sur les densités moyennes ne comporte aucune hypothèse sur la loi de distribution des grains (3).

Comparaison des deux modes de comptage :

Les deux méthodes de comptage successivement utilisées ont été comparées pour montrer qu'elles caractérisaient de la même façon les densités de voile. Dans ce but, on a déterminé les densités de voile par les deux méthodes dans 6 plaques. On a calculé en grains par $10\,000\mu^3$ et en grains par $1\,000\mu^2$:

1) la densité moyenne dans toute l'épaisseur de l'émulsion ;

2) la densité moyenne dans une tranche d'épaisseur 190μ située à une profondeur moyenne de 235μ ;

3) la densité moyenne dans une tranche d'épaisseur $95\,\mu$ située à une profondeur moyenne de 330μ.

Pour obtenir ces résultats par la première méthode, nous avons compté tous les grains dans des colonnes de $100\mu^2$ de section, de hauteur égale à l'épaisseur de l'émulsion et repéré la cote de chacun d'eux. Les colonnes étaient ensuite divisées en tranches correspondant aux couches considérées. Par suite des difficultés rencontrées dans l'application de ce mode de comptage, la comparaison n'a porté que sur des plaques de développement modéré.

Sur le graphique de la figure 3, on a porté, en abscisses, les densités en grains par $1\,000\mu^2$ (2e méthode) et en ordonnées les densités en grains par $10\,000\mu^3$ (1re méthode). Ces densités sont affectées des erreurs standards correspondant à chaque mode de détermination. On voit qu'il existe entre les densités évaluées par les deux procédés un rapport constant. Ce résultat était d'ailleurs attendu, car le comptage dans un plan revient en fait à un comptage dans une tranche d'émulsion d'épaisseur égale à la profondeur de champ de l'objectif utilisé.

Il était d'autre part utile d'avoir une idée sur la répartition des grains dans les champs successivement explorés. Le graphique de la fig. 4 donne, pour une plaque, le nombre de grains trouvés pour

chacun des comptages successifs effectués dans 4 plans situés aux profondeurs de 23μ, 47μ, 117μ et 163μ. On voit que les fluctuations

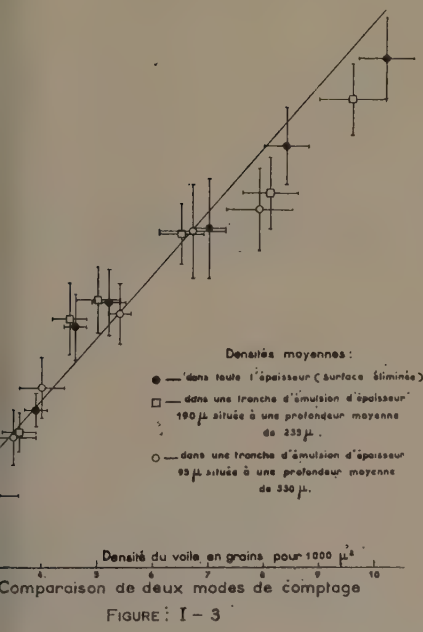


FIGURE : I – 3

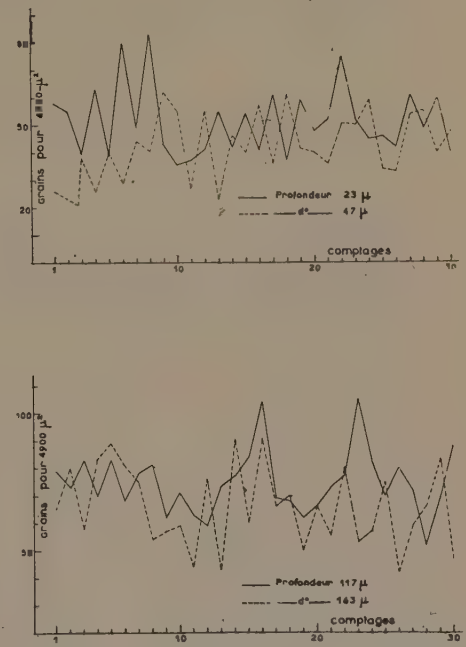


FIGURE : I – 4

autour de la valeur moyenne, dans un plan, ne révèlent pas de zones privilégiées et que le groupement des quatre plans de comptage deux à deux semble légitime.

3° *Résultats*

Les courbes des figures 5, 6, 7 et 8 donnent les variations de la densité de grains de voile suivant le *p*H à différentes profondeurs pour des durées de développement à froid de 80 mn, 90 mn, 100 mn et 120 mn respectivement. Ces courbes conservent l'allure générale de celles des fig. 1 et 2 qui donnaient, dans des conditions identiques, les densités moyennes dans les 200 premiers microns d'émulsions du même type de 400μ et de 600μ d'épaisseur, exposées au rayonnement cosmique.

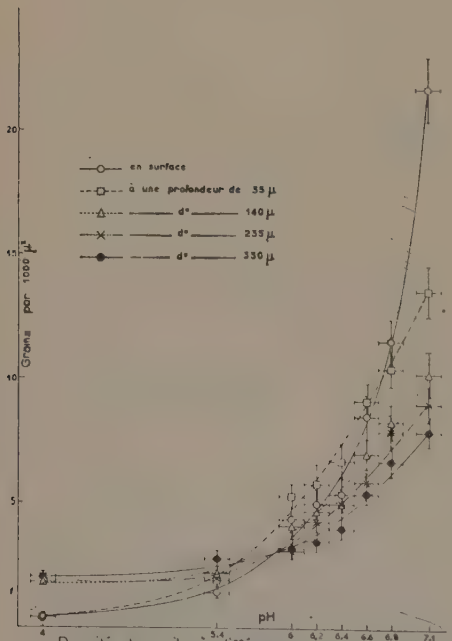
Des résultats analogues ont été signalés (14) en photographie classique où les variations des densités optiques suivant le *p*H du révélateur conduisaient à des courbes d'allure parabolique.

La densité optique D a été définie par Hurter et Driffield (15) comme étant égale au logarithme décimal de l'opacité :

$$D = \log_{10} \frac{F_o}{F}$$

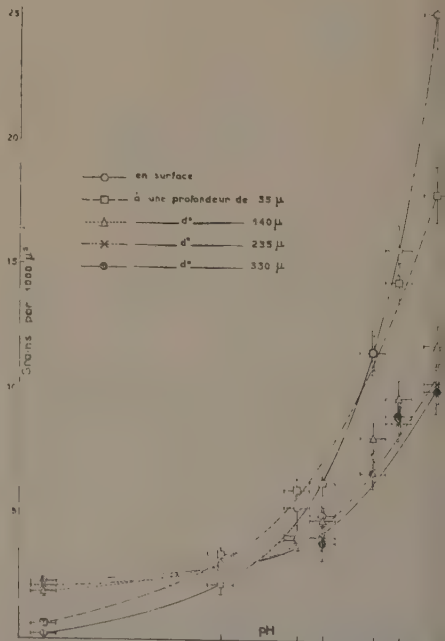
F_o étant le flux lumineux incident et F le flux transmis par la couche considérée.

On peut montrer, qu'en première approximation, il existe une relation simple entre la densité optique et le nombre de grains voilés par unité d'aire [Abribat (16)].



Densité du voile à différentes profondeurs
Traitement : 80mn à 5°C.

FIGURE : I– 5



Densité du voile à différentes profondeurs
Traitement : 90mn à 5°C

FIGURE : I–6

Le choix de cette définition de la densité optique repose sur la loi d'absorption de Beer : si F_0 désigne le flux incident et F_x le flux

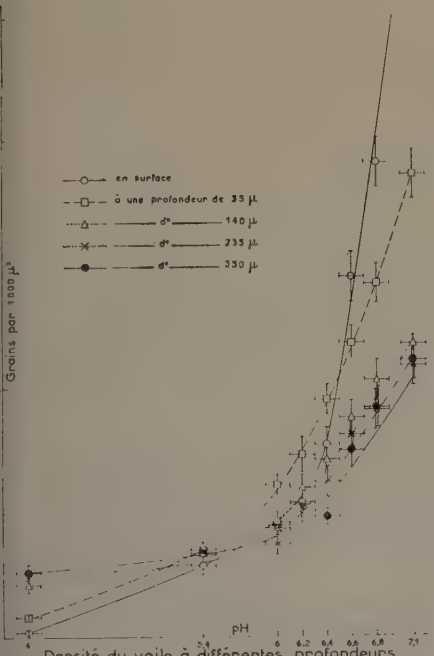
transmis par une épaisseur de substance contenant N particules absorbantes, la transparence est :

$$T = \frac{F_x}{F_o} = \exp(-KN),$$

K étant la fraction de lumière incidente transmise par chacune des N particules.

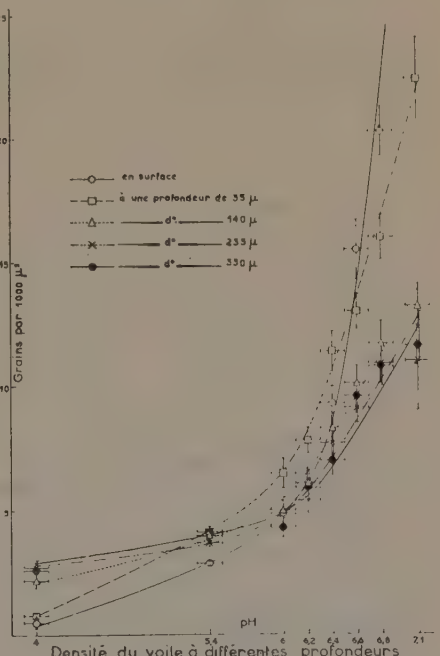
L'opacité s'exprime alors par : $\frac{F_o}{F_x} = \exp(KN)$.

et la densité devient : $D = -\log_{10} \exp(-KN) = -\frac{1}{2{,}3} \operatorname{Log}_e T$.



Densité du voile à différentes profondeurs
Traitement : 100 mn à 5°C

FIGURE : I - 7



Densité du voile à différentes profondeurs
Traitement : 120 mn à 5°C

FIGURE : I - 8

Si l'on suppose (17) que la couche considérée est formée de *m* couches superposées ne contenant chacune qu'une seule épaisseur de grains complètement absorbants et situées dans un milieu parfaitement

transparent, et si S est l'aire projective totale des grains contenus dans l'unité de surface d'une de ces couches, la probabilité de passage de la lumière à travers l'une d'elles est donnée par 1 — S.

En désignant par S_1, S_2, ..., S_m l'aire projective de l'ensemble des grains contenus dans l'unité de surface de chacune des m couches, la transparence totale est :

$$T = (1 - S_1)\ (1 - S_2)\ \ldots\ldots\ (1 - S_m)$$

et la densité optique :

$$D = -\ 1/2{,}3\ \mathrm{Log_e}\ [\ (1 - S_1)\ (1 - S_2)\ \ldots\ldots\ (1 - S_m)\ ]$$

Supposons que les grains aient même dimension dans toute l'épaisseur et soit s l'aire projective de chacun d'eux. Désignons par d_1, d_2, ..., d_m, le nombre de grains par unité de surface dans chacune m couches. On aura :

$$D = -\ 1/2{,}3\ \mathrm{Log_e}\ [(1 - d_1 s)\ (1 - d_2 s)\ \ldots\ldots\ (1 - d_m s)]$$

et pour une tranche d'émulsion formée de m couches élémentaires portant des densités de grains égales d :

$$D = -\ \frac{1}{2{,}3}\ \mathrm{Log_e}\ (1 - ds)^m = -\ \frac{m}{2.3}\ \mathrm{Log_e}\ (1 - ds)$$

ou en développant :

$$D = -\ \frac{m}{2{,}3}\left[\ -\ ds\ -\ \frac{(ds)^2}{2}\ -\ \ldots\ldots\right]$$

L'aire projective totale ds étant petite, on aura sensiblement :

$$D = \frac{ms}{2{,}3}\ d$$

Dans ces conditions, la densité optique serait proportionnelle au nombre de grains développés par unité d'aire. Ce résultat est généralement admis (18) en tenant compte toutefois du fait que la loi de Beer ne serait rigoureusement applicable que si l'argent était infiniment dispersé dans la gélatine.

L'analogie trouvée entre les variations de la densité de grains de voile et les variations de la densité optique suivant le *p*H du révélateur est donc ainsi explicable.

4° *Interprétation des résultats*

Dans sa théorie de l'image latente, Mitchell (22) envisage la formation des germes stables en trois étapes.

Il se formerait d'abord un germe de pré-image constitué par un atome d'argent adsorbé adjacent à un ion Ag^+ à l'emplacement d'un défaut du cristal. La combinaison de ce germe de pré-image avec un ion intersticiel et un électron de conductibilité constituerait un germe de sous-image formé de deux atomes d'argent. Enfin ce germe de sous-image conduit, par un mécanisme analogue au précédent, à un germe complet d'image latente constitué de trois atomes d'argent. Mitchell suppose que ce groupe de trois atomes d'argent adsorbé à la surface du cristal forme, par combinaison avec un ion Ag, un groupe à charge positive de quatre atomes d'argent qui est le plus petit groupe positivement chargé en équilibre à la température ambiante.

L'existence de ce groupe limite semble être confirmée par les résultats expérimentaux obtenus avec des révélateurs critiques (23).

D'autre part, il paraît maintenant admis que l'image latente corpusculaire est très dispersée (24), (25) et (26). L'image latente due aux particules présente des analogies avec celle donnée par la lumière pour des éclairements très courts. On considère que cette dernière est très dispersée, ce qui entraîne les conséquences suivantes (27) :

1° Faible vitesse de développement ;
2° Instabilité de conservation ;
3° Instabilité à la lumière rouge (effet Herschel).

Ce sont également les caractéristiques de l'image latente corpusculaire. Dans le cas du rayonnement γ, l'instabilité à la lumière rouge a été utilisée pour un effacement sélectif du voile (28).

Dans cette hypothèse, les germes de sous-image, au sens de Mitchell, jouent un rôle important dans l'image latente corpusculaire.

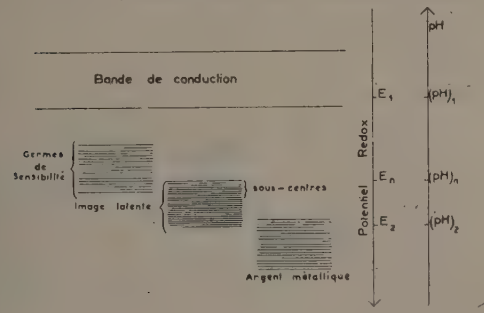


FIGURE I - 9

Si on considère le schéma classique de Berg (16), (29) qui situe les niveaux d'énergie occupés par les centres d'image latente dans un cristal d'halogénure d'argent (fig. I-9), les sous-centres doivent occuper les niveaux les plus hauts d'image latente (30). D'après Mitchell, ils se situent à 1,54 ev au-dessous de la bande de conductibilité. Par contre, les centres

d'image latente stables formés de quatre atomes d'argent et tous les germes de plus grande dimension, chargés positivement, occupent les niveaux les plus bas.

Mécanisme du développement selon Mitchell

Développement de la sous-image latente :

Les germes de sous-image adsorbent un ion Ag ; le transfert d'un électron du révélateur à ce germe chargé positivement conduit à la formation d'un groupe électriquement neutre de trois atomes d'argent. Les niveaux d'énergie correspondants sont alternativement élevés et abaissés par transfert d'un électron et adsorption d'un ion Ag.

Développement de l'image latente :

Les germes stables d'image latente formés au cours de l'exposition ou résultant du développement des sous-germes sont constitués d'au moins quatre atomes d'argent. La croissance de ces germes s'effectue par un mécanisme analogue au précédent : adsorption d'un ion Ag et transfert d'électron du révélateur au germe.

Un révélateur sera donc caractérisé par sa possibilité de céder des électrons à un certain niveau. Le développement photographique est une réaction entre une solution et un solide, le cristal de bromure d'argent, et d'après Abribat (16) la variation de l'énergie libre à l'interface cristal révélateur serait un des facteurs essentiels de la théorie du développement.

Dans le cas de systèmes réversibles, le potentiel d'oxydo-réduction E est une mesure de la variation d'énergie libre ΔF (5) :

$$-\Delta F = E.\ n.\ f.$$

n = Valence des ions.
f = 1 Faraday.

Le potentiel d'oxydo-réduction (31) peut s'exprimer par la relation :

$$E = E_o + \frac{RT}{nf} \text{Log} \frac{(Ox)}{(Red)} + \frac{RT}{nf} \text{Log} \left[H^+ \right]$$

E_o : potentiel standard
R : constante des gaz
T : température absolue

$$\text{ou : } E = E_0 + \frac{0{,}058}{n} \log \frac{(Ox)}{(Red)} - 0{,}058\ p\text{H}.$$

Le potentiel d'oxydo-réduction diminue quand le *p*H augmente.

Un révélateur de *p*H donné possède un potentiel d'oxydo-réduction déterminé et peut céder des électrons à des centres correspondant à un niveau énergétique déterminé (16) et à tous les centres occupant des niveaux inférieurs.

Une solution réductrice de $p\text{H} = (p\text{H})_1$ auquel correspond le potentiel d'oxydo-réduction E_1 (fig. I-9) n'aura qu'un effet voilant, car elle peut fournir des électrons au niveau de la bande de conductivité du cristal. Par contre, un révélateur de $p\text{H} = (p\text{H})_2$ possédant le potentiel d'oxydo-réduction E_2 ne peut céder d'électrons qu'à des niveaux correspondant à l'argent métallique. Tous les réducteurs dont le potentiel est compris entre ces valeurs sont des révélateurs.

Si l'on considère un révélateur de $p\text{H} = (p\text{H})_n$, de potentiel d'oxydo-réduction E_n, il peut fournir des électrons à tous les niveaux situés au-dessous de E_n. Il peut donc révéler les centres complets d'image latente et provoquer la transformation de sous-centres en centres développables suivant le mécanisme indiqué par Mitchell.

Examinons ce qui se passe dans une tranche d'émulsion. Le révélateur qui imprègne cette couche a un *p*H de valeur déterminée, donc un certain potentiel d'oxydo-réduction. Il est en mesure d'atteindre tous les germes d'image latente situés au-dessous du niveau correspondant et de les révéler dès qu'il entre en contact avec eux. Il peut également atteindre les germes de sous-image situés dans sa bande d'activité et les transformer en germes développables qui seront effectivement révélés si le temps d'action est suffisant. Donc un révélateur de *p*H donné ne peut révéler qu'une certaine classe de germes, classe d'autant plus nombreuse que le potentiel redox est faible, c'est-à-dire que le *p*H est élevé.

Cette interprétation reste qualitative, car il n'est pas possible d'exprimer le potentiel d'oxydo-réduction en unités énergétiques (Abribat).

Les techniques habituelles de mesure des potentiels utilisent des électrodes inertes et donnent des résultats dans une échelle arbitraire dont le point de référence est le potentiel d'une électrode à hydrogène pour $p\text{H} = 0$.

Une mesure absolue des potentiels d'oxydo-réduction et leur évaluation en électrons-volts permettrait de déterminer les niveaux énergétiques des différentes classes de germes d'image latente. Il serait alors possible de prévoir des révélateurs susceptibles de les

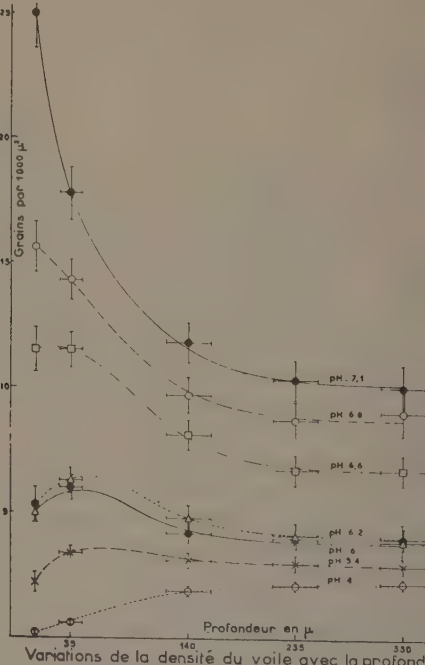
différencier, ce qui conduirait à une meilleure connaissance du mécanisme de l'action des particules sur l'émulsion photographique.

5° *Variation de la densité de voile avec la profondeur*

Afin de caractériser les différents traitements au point de vue de l'uniformité, on a recherché pour chacun d'eux les variations de la densité de grains de voile avec la profondeur dans l'émulsion. Les courbes des figures 10, 11, 12 et 13 représentent ces variations pour les révélateurs de différents *p*H et après 80 mn, 90 mn, 100 mn et 120 mn de traitement à 5°.

Variations de la densité du voile avec la profondeur
Traitement : 80 mn à 5°C

FIGURE : I – 10



Variations de la densité du voile avec la profond
Traitement : 90 mn à 5°C

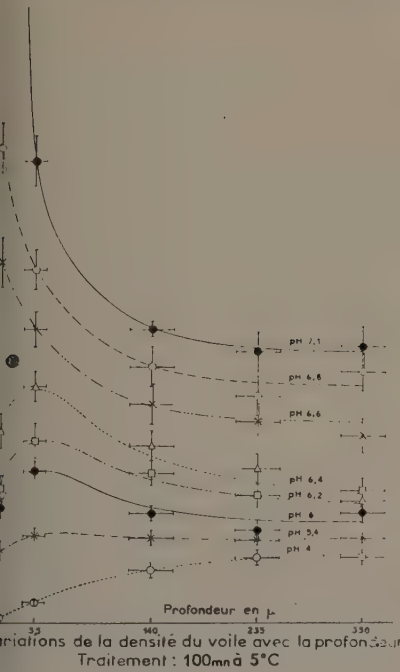
FIGURE : I – 11

Les densités figurées sont en fait des densités moyennes relevées dans des couches d'émulsions situées de part et d'autre des profondeurs 35 μ, 140 μ, 235 μ et 330 μ d'émulsion non traitée et la densité superficielle. L'examen de ces courbes et de celles des figures 5, 6, 7 et 8 permet de préciser le rôle du *p*H du bain dans le mécanisme de révélation du voile.

Il semble qu'on puisse ranger les révélateurs utilisés en trois catégories suivant leur *p*H :

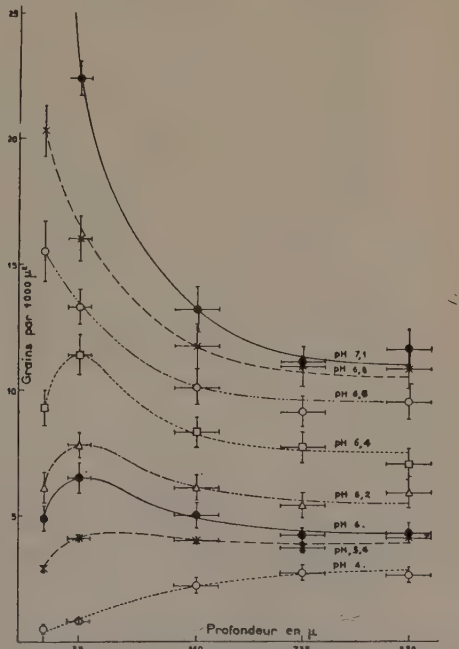
1° ceux de *p*H 7,1, 6,8 et 6,6
2° — 6,4, 6,2 et 6
3° — 5,4 et 4.

Le premier groupe correspond à des révélateurs couramment utilisés dans la technique des émulsions nucléaires. Les courbes qui leur sont relatives sur les figures 10, 11, 12 et 13 indiquent une nette décroissance de la densité avec la profondeur, en accord avec ce qui avait



riations de la densité du voile avec la profondeur
Traitement : 100mn à 5°C

FIGURE : I – 12



Variations de la densité du voile avec la profondeur
Traitement : 120mn à 5°C

FIGURE : I – 13

été constaté (19), (20), (21) sur des emulsions d'épaisseur moindre. Ces révélateurs présentent une activité notable qui se manifeste dès leur contact avec l'émulsion et se poursuit dans les couches superficielles pendant toute la durée du bain. On voit en effet que le surdéveloppement de cette tranche s'accroît avec le temps de séjour dans le révélateur.

Le *p*H de ces révélateurs est supérieur à celui de l'émulsion et la pénétration entraîne une diminution de *p*H et par là-même une diminution du niveau énergétique. De ce fait, leur activité décroît avec la pénétration et ils ne peuvent fournir d'électrons qu'à des classes de grains de plus en plus restreintes porteurs de germes à des niveaux énergétiques inférieurs au leur. Mais cette variation de *p*H est limitée assez rapidement par le pouvoir tampon de la gélatine et le révélateur se stabilise à un niveau énergétique auquel le développement se poursuit en profondeur. Les faibles variations de densité constatées au-delà de 140 μ ne sont plus que la conséquence des différences entre les temps d'action sur les couches successives et aussi de l'usure des produits qui y parviennent.

Pour le second groupe de révélateurs : *p*H 6,4, 6,2 et 6, le phénomène est différent. Il s'agit ici de bains dont le *p*H est accru par la pénétration. Ils se trouveront donc, après avoir traversé une certaine épaisseur, à un niveau énergétique supérieur à leur niveau originel, d'où une plus grande activité. Mais la variation de *p*H est aussi limitée par le pouvoir tampon de la gélatine ; le révélateur se stabilise et le développement se poursuit en profondeur comme précédemment.

Pour le dernier groupe de révélateurs de *p*H 5,4 et 4, le mécanisme semble le même avec cette différence qu'ils n'atteignent une activité notable qu'après avoir traversé une épaisseur d'émulsion plus grande du fait de leur faible *p*H originel. Il semble même que, pour le révélateur de *p*H 4, la stabilisation ne soit pas atteinte.

6° *Conclusion*

Ce sont les révélateurs de *p*H 6 à 6,4 qui ont donné le développement le plus uniforme à 5°. On constate d'autre part que, dans cette zone de *p*H, on n'améliore pas l'uniformité en prolongeant le développement à froid.

Habituellement (32), on caractérise un gradient de développement par la relation :

$$\Delta d = \frac{d \text{ surface} - d \text{ verre}}{d \text{ surface}}$$

d désignant la densité de grains. Les courbes traduisant la variation de la densité de voile avec la profondeur montrent que la relation précédente n'est pas applicable sans précaution ; il peut exister entre la couche superficielle et le verre une zone surdéveloppée comparativement aux tranches voisines.

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE PREMIER

1. G. Occhialini, *Colloque sur la sensibilité des cristaux et des émulsions photo.* Paris, 1953, p. 373.
2. Malcolm Dole, *L'Electrode en verre.* Paris, 1952, p. 137.
3. L. Jauneau et F. Hug-Bousser, *Jl. Phys. Rad.* 1952, 13, 465.
4. A.J. Herz, *Colloque sur la sensibilité des cristaux et des émulsions photo.* Paris, 1953, p. 350.
5. C.E.K. Mees, *The theory of the Photographic Process.* New-York, 1952, p. 457.
6. G.D. Fatzer, *Rev. Sc. Instr.*, 1959, 30, 22.
7. G.D. Fatzer, R. Weill, M. Gailloud, Ch. Haenny, *Premier colloque de Photographie corpusculaire.* Paris, 1958, p. 273.
8. C.E.K. Mees, réf. 5, p. 501.
9. A. Bernet et R. Chastel, *Jl. Phys. Rad.*, 1954, 15, 781.
10. M. Gailloud et Ch. Haenny, *Colloque sur la sensibilité des cristaux et et des émulsions photo,* Paris, 1953, p. 337.
11. M. Paic, *Premier colloque de photographie corpusculaire,* Paris, 1958, p. 259.
12. G. Thuro et M. Paic, *Nuovo Cimento,* 1956, 4, 887.
13. L.P. Clerc, *La Technique photographique,* Paris, 1947.
14. H. Gauvin, *Colloque sur la sensibilité des cristaux et des émulsions photo,* Paris, 1953, p. 242.
15. Hurter et Driffield, *S. Soc. Chem. Ind.*, 1890, 9, 455.
16. M. Abribat, *Chimie physique des couches sensibles photographiques,* Paris, 1954.
17. P.G. Nutting, *Phil. Mag.*, 1913, 26, 423.
18. P. Vernier, *C. R.*, 1957, 244, 3047.
19. G. Alvial, *Nuovo Cimento,* 1953, 10, 1616.
20. A.C. Coates, *Fundamental Mechanisms of photographic sensitivity,* Londres, 1951, p. 329.
21. I. Hauser, *Photographie Corpusculaire II,* Montréal, 1959.
22. Mitchell, *Sc. Ind. Phot.*, 1958, 29, 1.
23. P. Cüer, *Photographie Corpusculaire II,* Montréal, 1959.
24. P. Cüer, *Sc. Ind. Phot.*, 1947, 18, 321 ; 1950, 21, 161.
25. P. Cüer et R. Schmitt, *C. R.* 1956, 242, 2831.
26. R. Schmitt et P. Cüer, *C. R.* 1960, 251, 1124.
27. W.F. Berg, *Photographie Corpusculaire,* Paris, 1958, p. 93.
28. A.M. Goldstein et Shermann, *Rev. Sci. Inst.*, 1952, 23, 267.
29. P. Demers, *Ionographie, Montréal,* 1958, p. 66.
30. A.L. Kartuzhanskii, *Uspekhi-fiz Nauk,* 1954, 52, 341.
31. P. Glafkidès, *Chimie photographique,* Paris, 1957.
32. M. Nicolae, *Sc. Ind. Photo,* 1960, 31, 385.

CHAPITRE II

Développement avec variation de température

1° La technique la plus courante de développement des émulsions nucléaires épaisses comporte un réchauffement à sec.

Dans le but d'étudier la contribution de ce stade du traitement dans la formation du voile et son influence sur l'uniformité, nous avons traité 16 plaques par cette méthode. Ces émulsions appartenaient au même lot que celles traitées uniquement à froid et avaient été exposées en même temps.

Traitement des émulsions :

Trempage à l'eau distillée	à 5°	1 h 30
Bain révélateur	à 5°	1 h 30

Les plaques retirées du révélateur restaient 10 mn à la température du laboratoire, l'excès du révélateur à la surface des plaques étant enlevé à l'aide de papier filtre. On les plaçait ensuite sur une plaque d'aluminium poli, dans une enceinte maintenue à 26°4 ; elles y séjournaient 20 mn pour la première série et 30 mn pour la seconde série.

Cette phase du traitement s'effectuait dans une petite cuve entourée de deux serpentins de cuivre concentriques et isolée thermiquement. Une pompe assurait dans les deux serpentins la circulation de l'eau issue d'un système thermostatique. Ce dispositif maintenait dans la partie utile la température constante à 0,1 degré près.

Après ce réchauffement à sec, les plaques étaient replacées pendant 10 mn dans l'appareil frigorifique avant le bain d'arrêt à 5°. La suite du traitement était identique à celui qui a été précédemment décrit.

TABLEAU I

Durée du réchauffement : 20 mn

*p*H	7,1	6,8	6,6	6,4	6,2	6	5,4	4
Densité en surface..	62,6 ± 4,3	63,4 ± 7,2	33,6 ± 1,4	12,4 ± 1,3	11,6 ± 1,5	15,9 ± 1,5	12,7 ± 1,2	3,1 ± 0,4
Densité à une profondeur de 35μ ..	32,1 ± 2,2	27,8 ± 3,5	20,7 ± 1,1	12,8 ± 0,8	11,2 ± 0,6	13,4 ± 1,2	16,4 ± 1,2	6,5 ± 0,3

TABLEAU II

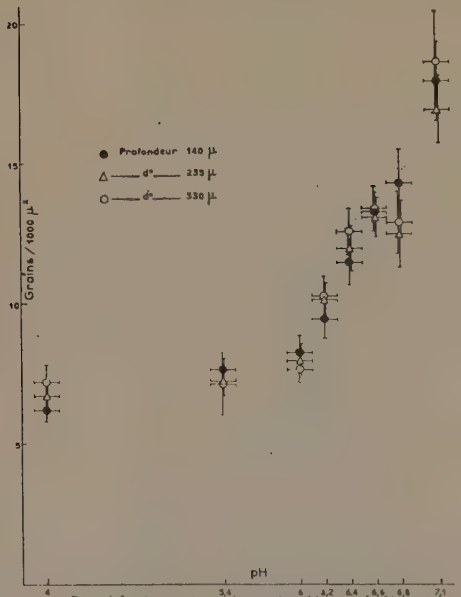
Durée du réchauffement : 30 mn

*p*H	7,1	6,8	6,6	6,4	6,2	6	5,4	4
Densité en surface..	57,1 ± 6,1	40,1 ± 5,5	54 ± 1,9	19,6 ± 3	17,3 ± 1,7	25,9 ± 1,5	22,5 ± 8,7	3,5 ± 0,5
Densité à une profondeur de 35μ ..	29,6 ± 1,7	18,5 ± 1,8	22,5 ± 3,7	17,2 ± 0,7	14,6 ± 1,1	17 ± 1,7	22,5 ± 1,5	5,9 ± 0,4

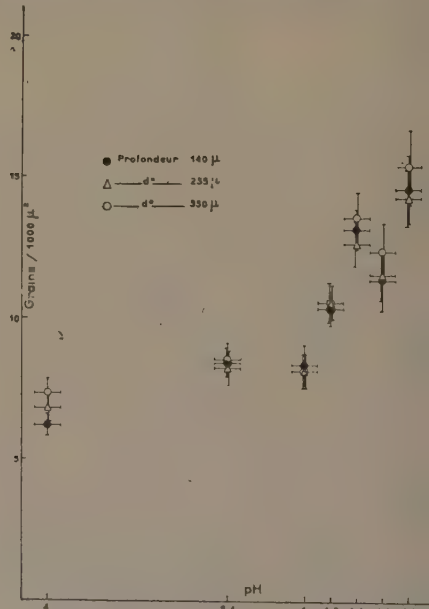
2° *Résultats*

Nous avons effectué des comptages de grains de voile dans les mêmes conditions que pour les plaques traitées uniquement à froid et exploré les mêmes tranches d'émulsion en groupant ces comptages de la même façon.

Les densités de grains de voile évaluées en grains pour 1 000 μ^2 sont données, pour les deux séries et les deux premières tranches, par les tableaux I et II. Les graphiques des fig. 1 et 2 donnent, pour



Densité du voile suivant le pH du révélateur
Traitement { 90 mn à 5° C / 20 mn à 26°4 C
FIGURE : II – 1



Densité du voile suivant le pH du révélateur
Traitement { 90 mn à 5° C / 30 mn à 26°4 C
FIGURE: II – 2

les deux séries d'émulsions et les durées de stade chaud de 20 mn et 30 mn, les densités de voile suivant le *p*H du révélateur pour des couches d'émulsion situées à des profondeurs moyennes de 140 µ, 235 µ et 330 µ.

En ce qui concerne les deux premières tranches d'émulsion considérées, des fluctuations importantes y sont apparues. Elles sont vraisemblablement imputables aux difficultés que l'on rencontre pour opérer de façon identique sur plusieurs plaques dans le cas du réchauffement.

Il est facile de traiter à froid un lot assez important de plaques dans de bonnes conditions de reproductibilité. Dans ce cas, tout le traitement a lieu dans une enceinte refroidie ; les seules opérations à effectuer consistent en des changements de bain qui peuvent se faire sans manipulation des plaques et simultanément pour l'ensemble.

Il n'en est plus ainsi lorsqu'on fait intervenir un réchauffement à sec qui demande que les plaques soient essorées légèrement afin d'être débarrassées d'un excès superficiel de révélateur. L'excès de révélateur est absorbé au moyen de papier filtre ; cette opération ne peut être simultanée pour l'ensemble des plaques et il est difficile d'assurer sa régularité. De plus, à la température du laboratoire, la vitesse de développement est notable, ce qui contribue à aggraver les irrégularités. C'est probablement cette phase du traitement qui est à l'origine des différences de densité de grains, souvent signalées, dans des plaques traitées de façon identique, mais non simultanément. Pour cette raison, nous ne comparerons dans la suite que les résultats obtenus dans des émulsions traitées ensemble.

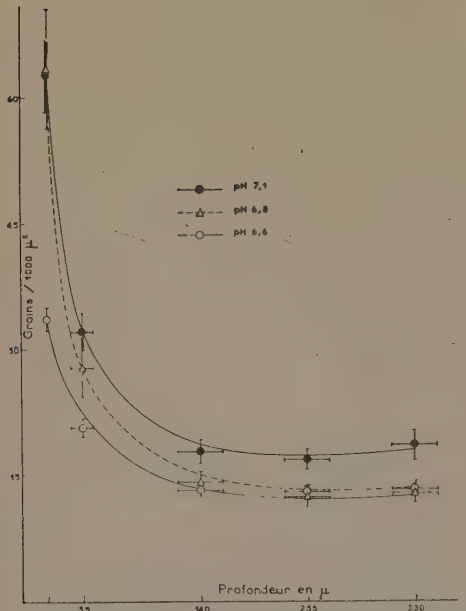
En ce qui concerne les couches profondes, les figures 1 et 2 traduisent des variations de densité de voile suivant le *p*H du révélateur analogues à celles constatées dans un traitement à basse température. Le réchauffement a provoqué un accroissement des densités ; cet accroissement n'est pas uniforme, le coefficient de température dépendant, lui aussi, du *p*H du révélateur.

D'autre part, l'uniformité du développement est améliorée. La décroissance des densités de grains de voile est moins marquée vers les bas *p*H que dans le cas du développement à froid. On observe qu'au-dessous de *p*H 6,2, les densités de voile sont sensiblement constantes dans les couches profondes ; on remarque toutefois qu'elles sont légèrement plus élevées dans la dernière tranche. On peut penser que cette couche, en contact avec le support de verre reposant lui-même sur une plaque bonne conductrice, s'est trouvée plus rapidement portée à la température maximum que les tranches moyennes. En outre, le bain d'arrêt n'agit sur cette région qu'avec un certain retard.

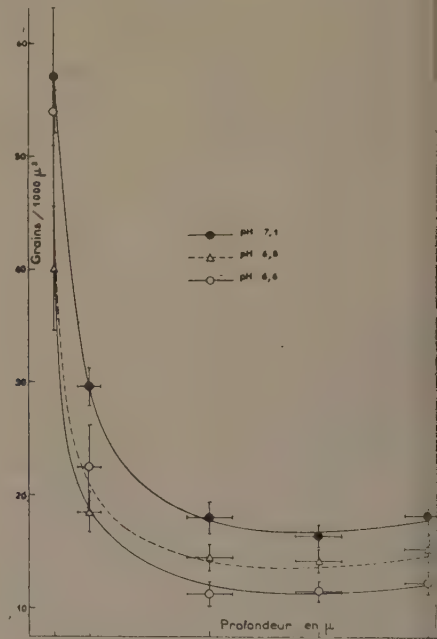
3° *Variations des densités de voile avec la profondeur*

Les courbes des figures 3 et 4 donnent les variations des densités de voile avec la profondeur pour des révélateurs de *p*H 7.1 ; 6,8 et 6,6 après un réchauffement à 26°4 de 20 mn et de 30 mn. On retrouve le surdéveloppement en surface déjà constaté pour ces valeurs du *p*H à la suite du traitement à 5°.

Les figures 5 et 6 sont relatives aux révélateurs de *p*H 6,4 et 6,2 dans les mêmes conditions. Elles montrent que ces révélateurs donnent, du point de vue de l'uniformité du développement en profondeur, des résultats très satisfaisants.



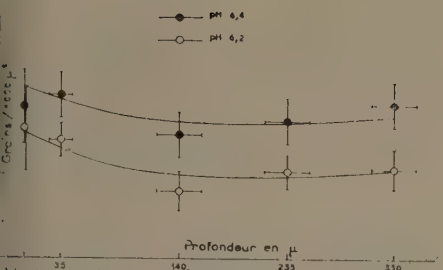
Variations de la densité du voile avec la profondeur
Traitement { 90 mn à 5°C / 20 mn à 26°4 C
FIGURE : II – 3



Variations de la densité du voile avec la profonde
Traitement { 90 mn à 5°C / 30 mn à 26°4 C
FIGURE . II – 4

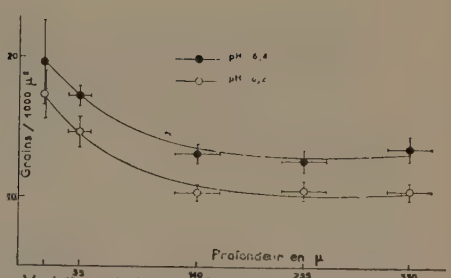
Enfin, les courbes des figures 7 et 8 représentent les variations des densités de voile avec la profondeur pour les révélateurs de *p*H 6 ; 5,4 et 4.

Si les courbes concernant les *p*H 5,4 et 4 traduisent des variations identiques à celles constatées à la suite du traitement à froid, celles qui sont relatives au révélateur de *p*H 6 indiquent un surdéveloppement dans les tranches superficielles qui paraît anormal. Les deux séries de plaques montrent le même phénomène, mais il faut tenir compte du fait qu'elles ont été traitées en même temps et qu'une variation fortuite de température pendant la période intermédiaire, entre le bain révélateur et le réchauffement, aurait eu des répercussions analogues sur les deux séries.



Variations de la densité du voile avec la profondeur
Traitement { 90 mn à 5°C / 20 mn à 26°4 C

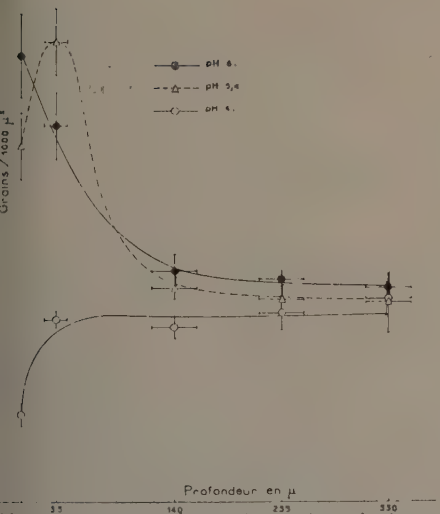
FIGURE : II – 5



Variations de la densité du voile avec la profondeur
Traitement { 90 mn à 5°C / 30 mn à 26°4 C

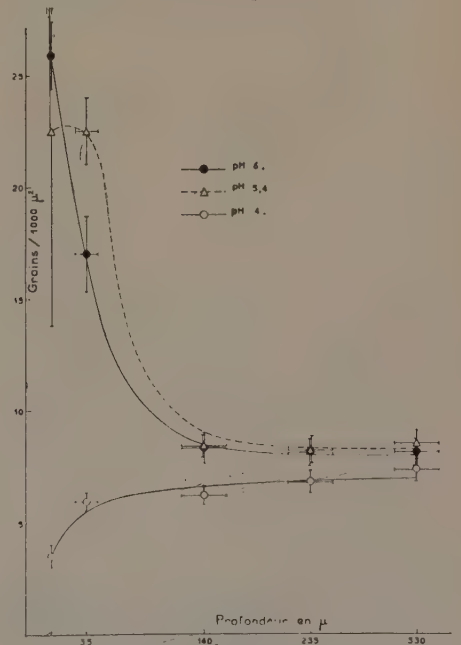
FIGURE : II – 6

Les résultats obtenus dans un développement suivant la méthode courante des deux températures confirment les conclusions de l'étude faite à la suite d'un traitement complet à 5°. Ce sont les révélateurs dont le *p*H est compris entre 6 et 6,4 qui donnent les résultats les plus satisfaisants quant à l'uniformité dans toute l'épaisseur de l'émulsion.



Variations de la densité du voile avec la profondeur
Traitement { 90 mn à 5° C / 20 mn à 26°4 C

FIGURE II – 7



Variations de la densité du voile avec la profondeur
Traitement { 90 mn à 5°C / 30 mn à 26°4 C

FIGURE II – 8

Ces conclusions se retrouvent pour les densités de grains de traces au minimum d'ionisation. M. Nicolae * a étudié les densités de grains obtenues par des révélateurs à l'Amidol dans des plaques Nikfi R par la méthode des deux températures.

Cet auteur a montré que, pour des températures de stade chaud comprises entre 20° et 30°, le gradient de développement était minimum pour les valeurs du *p*H comprises entre 6 et 6,4.

4° *Comparaison des densités moyennes obtenues dans les différentes conditions de traitement*

Dans le but de mettre en évidence l'influence du stade chaud sur la formation des densités de voile obtenues avec les révélateurs de différents *p*H, nous avons comparé les densités moyennes dans les trois cas suivants :

1°) Dans un développement de 120 mn à 5°.

2°) Dans un développement d'une durée totale de 120 mn comportant un réchauffement de 20 mn à 26°4.

3°) Dans un développement analogue au précédent, mais dans lequel le stade chaud avait une durée de 30 mn.

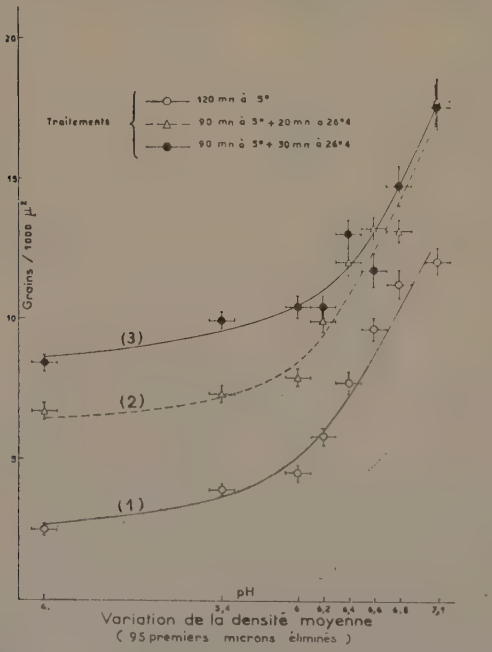


FIGURE : II – 9

Cette comparaison a porté sur les densités moyennes dans les 305 derniers microns de l'émulsion. Le surdéveloppement constaté dans les couches superficielles, pour les révélateurs de *p*H élevé, enlevait toute signification à la moyenne générale.

Les courbes de la fig. 9 traduisent les résultats. La comparaison des courbes (1) et (2) relatives à un développement de même durée montre que, pour les révélateurs de *p*H élevé, une partie notable du voile est révélée dès la période d'imprégnation à froid.

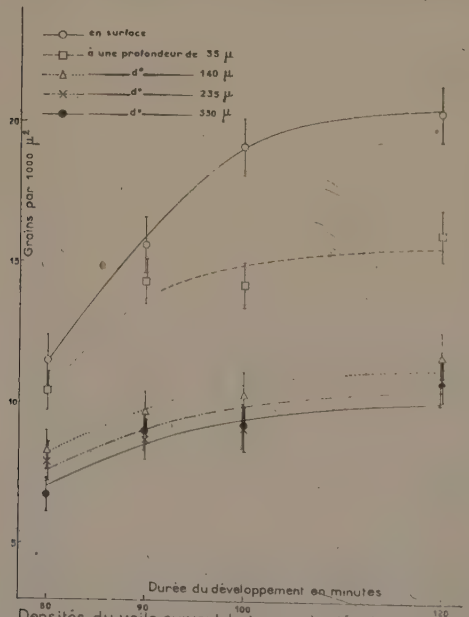
* *Sc, Ind, Phot*, 1960-31-385.

La comparaison des courbes (2) et (3) montre que c'est surtout vers les basses valeurs du *p*H que se manifeste l'influence de l'accroissement de la durée de réchauffement. Celle-ci ne contribue que faiblement à l'augmentation du voile dans le cas des révélateurs de *p*H supérieur à 6,2.

CHAPITRE III

Cinétique du développement du voile γ à froid Discrimination entre le voile γ et le voile photographique

1° L'étude de la cinétique du développement photographique dans un traitement donné se fait en général en déterminant soit la densité optique, soit la masse d'argent réduit en fonction du temps. Le deuxième procédé est plus satisfaisant comme traduisant mieux la réaction. La relation entre la quantité d'argent réduit et la densité optique qui constitue l'équivalent photométrique est sujette à des variations, notamment avec le diamètre des grains.



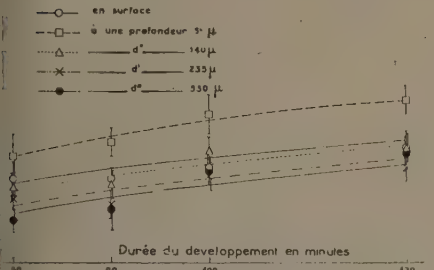
Densités du voile suivant le temps de développement
Révélateur de pH : 6,8 — Température 5°C

FIGURE : III — 1

Nous avons pensé que cette seconde méthode pouvait s'appliquer au voile γ et que le dénombrement des grains formés dans des temps de traitement croissants pouvait donner des indications sur la cinétique du phénomène.

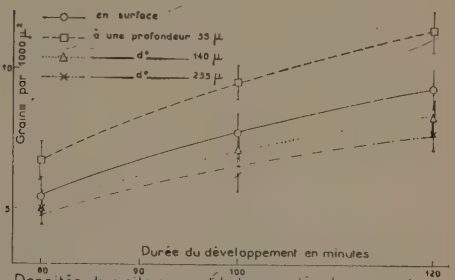
2° Les courbes de la figure 1 donnent, pour le révélateur de *p*H 6,8 à 5°,

les densités de grains de voile obtenues en fonction du temps de développement dans les différentes tranches d'émulsion. Celles des figures 2 et 3 sont relatives aux *p*H 6,2 et 6,4. On remarque que



Densités du voile suivant le temps de développement
Révélateur de pH : 6,2 — Température 5° C

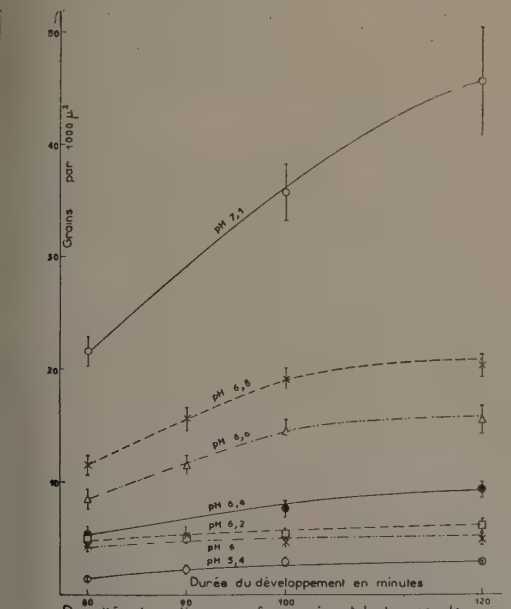
FIGURE III – 2



Densités du voile suivant le temps développement
Révélateur de pH : 6,4 — Température 5° C

FIGURE : III – 3

la vitesse de développement est sensiblement la même dans les différentes tranches, ce qui explique la bonne uniformité obtenue dans ces deux cas.



Densités du voile en surface suivant le temps de développement à 5° pour les révélateurs de différents pH

FIGURE : III – 4

Les courbes de la figure 4 représentent, dans les mêmes conditions, les densités trouvées dans les couches superficielles de l'émulsion avec les révélateurs de différents *p*H.

Dans tous les cas de traitement que nous avons expérimentés, la variation de la densité du voile avec le temps de développement présente le même aspect et les courbes ont l'allure générale de celles qui traduisent la variation, avec le temps, de la densité photographique qui satisfait assez bien à l'équation :

$$d = D\ (1 - e^{-Kt})$$

proposée par Mees et Sheppard (1). Il semblait intéressant de déterminer

pour chaque révélateur, les coefficients D et K. De plus, l'étude analogue de plaques non exposées aurait permis de comparer les vitesses de développement du voile γ et du voile chimique.

L'exécution de ce programme présentait, avec les plaques précédemment étudiées quelques difficultés. Tout d'abord, les temps de développement utilisés se prêtaient mal au calcul des coefficients D et K. D'autre part, la vitesse de diffusion est liée au *p*H et compte tenu de la durée de pénétration, le temps d'action du révélateur sur les différentes couches n'était pas déterminé avec une précision suffisante. Enfin, la comparaison avec des plaques non exposées n'était pas possible dans de bonnes conditions. Elle n'aurait eu de sens qu'avec des émulsions de même fabrication, préparées depuis peu de temps et ayant été conservées dans des conditions rigoureusement identiques à celles des émulsions exposées. Ces dernières avaient échappé à notre contrôle pendant un certain temps et avaient été soumises, lors de l'exposition, à des conditions de température mal connues.

3° Il était nécessaire de faire de nouvelles mesures en respectant les conditions suivantes :

1) Opérer sur des plaques d'un même lot de fabrication dont une partie serait exposée à un rayonnement γ ;
2) Conserver toutes les plaques dans les mêmes conditions ;
3) Choisir des émulsions minces (50μ) pour que les temps de pénétration et la variation de *p*H interviennent le moins possible ;
4) Choisir des temps de développement suffisamment étalés pour permettre le calcul des coefficients de la relation de Sheppard et Mees ;
5) Développer les plaques exposées et non exposées simultanément, après un délai de conservation aussi court que possible.

Exposition des plaques :

Une partie des plaques du lot a été exposée au rayonnement γ d'une source radioactive dans les conditions suivantes : les plaques enveloppées de papier noir étaient placées individuellement pendant 5 mn à 10 cm de la source, de manière que toutes les plaques aient occupé la même position par rapport à la source. Les plaques non exposées ont servi de témoins.

Développement :

Le développement a eu lieu 24 h après l'exposition et 15 jours après la fabrication de l'émulsion. Les plaques exposées et les plaques témoins correspondantes ont été traitées ensemble.

Formules des bains :

Révélateur :

— Amidol ..... 3 g
— Sulfite de sodium anhydre ..... 12 g
— Acide chlorhydrique (solution normale) ..... suivant *p*H
— Eau distillée pour faire ..... 1 l

On a utilisé trois révélateurs de *p*H respectifs : 7,1 ; 6,8 ; 6,6.

Bain d'arrêt :

— Solution d'acide acétique à 1 %.

Fixateur :

— Hyposulfite de sodium ..... 400 g
— Bisulfite de sodium (solution à 36°B) ..... 16 cm^3
— Eau ..... 1 l

Traitement des plaques :

L'ensemble du traitement a été effectué à froid (4,3 ± 0,2)° C dans les conditions suivantes :

— Trempage dans l'eau distillée ..... 15 mn
— Bain révélateur ..... 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 ou 180 mn
— Bain d'arrêt ..... 15 mn
— Fixage ..... 1 h
— Dilution du fixateur ..... 1 h
— Lavage ..... 2 h
— Glycérinage 2 % ..... 15 mn

Le traitement a été conduit de telle façon que toutes les plaques ont été fixées et lavées dans les mêmes bains et en même temps.

4° *Détermination des densités de grains de voile*

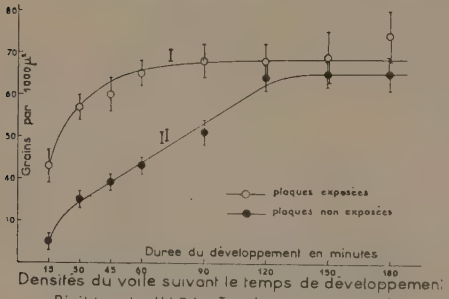
Les densités ont été déterminées par comptage des grains voilés ; les grains formant des agrégats ont été dénombrés. Les comptages ont été effectués dans des champs limités par le quadrillage d'un

oculaire micrométrique, à une même profondeur moyenne de 20μ (profondeur rapportée à l'émulsion non traitée) et dans trois bandes de la région centrale de la plaque.

Dans les plaques exposées, les zones de comptages occupaient les mêmes positions par rapport à la source lors de l'exposition, ceci afin d'éliminer les variations dues à d'éventuelles irrégularités dans le flux γ.

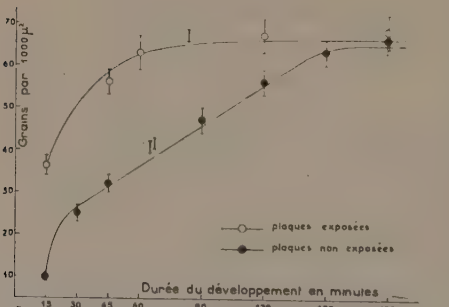
Résultats :

Les courbes I des figures 5, 6 et 7 représentent respectivement. pour les révélateurs de *p*H 7,1 ; 6,8 et 6,6 les densités de voile obte nues dans les plaques exposées, pour les différents temps de déve



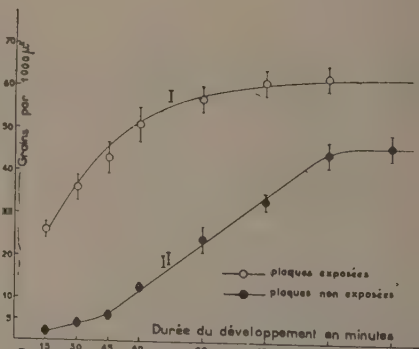
Densités du voile suivant le temps de développement
Révélateur de pH : 7,1 — Température (4,3 ± 0,2)°C

FIGURE. III – 5



Densités du voile suivant le temps de développement
Révélateur de pH : 6,8 — Température (4,3 ± 0,2)°C

FIGURE : III – 6



Densité du voile suivant le temps de développement
Révélateur de pH : 6,6 — Température (4,3 ± 0,2)°C

FIGURE : III – 7

loppement. Ce voile sera appelé voile total ; il comporte le voile γ et le voile photographique.

Les courbes II représentent les densités de voile dans les plaques témoins développées dans les mêmes conditions que les plaques

exposées. Dans ces dernières, le voile photographique est prépondérant.

En ce qui concerne les plaques exposées, les points expérimentaux semblaient devoir correspondre assez bien à l'équation de Mees, Sheppard, Hurter et Driffield (1) :

$$(1) \quad d = D\,(1 - e^{-Kt})$$

où d représente la densité de grains voilés à l'instant t, D la densité maximum pour le révélateur considéré à la température de l'expérience et K un coefficient caractéristique de la vitesse de développement.

La relation (1) qui traduit une réaction du premier ordre, paraît décrire les développements rapides. Cependant, étant donné que dans notre cas, la vitesse de diffusion du révélateur entre peu en ligne de compte, pas plus que les variations éventuelles de sa concentration, on peut espérer qu'une telle loi simple soit applicable (malgré les écarts signalés par Nietz (1) pour certains révélateurs et pour la densité d'images photographiques).

La méthode utilisée habituellement (2) pour déterminer les coefficients D et K, dans le cas des densités optiques, consiste à mesurer les densités d_1 et d_2 pour des temps de développement t_1 et t_2 tels que $t_2 = 2\,t_1$ et à calculer K et D par les relations :

$$(2) \quad \begin{cases} K = \dfrac{1}{t_1} \operatorname{Log}_e \dfrac{d_1}{d_2 - d_1} \\ D = \dfrac{d_1}{1 - e^{-Kt_1}} \end{cases}$$

Nous avions choisi les durées de développement de façon à disposer d'un certain nombre de couples de points répondant à cette condition. Mais la méthode précédente n'a pu être appliquée à cause des fluctuations qui interviennent dans le comptage des grains. Par contre, en l'appliquant à plusieurs couples de points (correspondant à des temps t et t' tels que $t' = 2\,t$) et en prenant les moyennes, on obtient des valeurs approchées D_o et K_o qui serviront de base au calcul de D et K par la méthode des moindres carrés.

On pose : $D = D_o + D'$, $K = K_o + K'$ et on détermine D' et K'. La vraie valeur de la densité d_i après un temps de développement t_i est : $d_i = D\,(1 - \exp - Kt_i)$

la valeur approchée : $d_i^o = D_o\ (1 - \exp - K_o t_i)$

On aura : $d_i = (D_o + D')\ [1 - \exp - (K_o + K')t_i]$

En développant les d_i, au voisinage de $D' = 0$ et $K' = 0$, suivant les puissances croissantes de D' et K' par la formule de Taylor et en négligeant les termes d'ordre $\geqq 2$, on obtient :

$$(3)\quad d_i = d_i^o + D'[1 - \exp - (K_o + K')t_i]_{(D'=o,\ K'=o)} + K'[(D_o + D')t_i \exp - (K_o + K')t_i]_{(D'=o,\ K'=o)}$$

où :

$$(4)\quad d_i = d_i^o + D'\ (1 - \exp - K_o t_i) + K'\ (D_o t_i \exp - K_o t_i) \equiv f\ (D', K')$$

Il faut rendre minimum $\Sigma\, p_i\ (d_i - \delta_i)^2$, les δ_i étant les densités mesurées, p_i le poids de la mesure, c'est-à-dire résoudre le système :

$$(5)\quad \begin{cases} \Sigma\ p_i\ (d_i - \delta_i)\ f'_{D'} = o \\ \Sigma\ p_i\ (d_i - \delta_i)\ f'_{K'} = o \end{cases}$$

ce qui conduit, en posant : $A_i = 1 - \exp - K_o t_i$

et $B_i = D_o t_i \exp - K_o t_i$

au système de deux équations linéaires en D' et K'.

$$(6)\quad \begin{cases} D' \Sigma\, p_i A_i^2 + K' \Sigma\, p_i A_i B_i = \Sigma\, p_i A_i\ (\delta_i - d_i^o) \\ D' \Sigma\, p_i A_i B_i + K' \Sigma\, p_i B_i^2 = \Sigma\, p_i B_i\ (\delta_i - d_i^o) \end{cases}$$

qui permet de calculer D' et K' et par suite D et K.

Les coefficients D et K étant connus, on peut, à partir de (1), déterminer la vitesse de développement du voile total au temps t $v = DKe^{-Kt}$. Les résultats sont indiqués dans le tableau I.

Les courbes II relatives au voile de développement seul sont plus complexes ; elles indiquent que ce voile tend lui aussi vers une densité limite, en accord avec des résultats obtenus sur le voile photographique (1).

TABLEAU I

*p*H du révélateur	D	K	Densité du voile total au temps t en grains/1 000μ^2	Vitesse de développement en grains/1 000μ^2/mn au temps t
7,1	68	0,061	$d=68(1-e^{-0,061\,t})$	$4,15\ e^{-0,061\,t}$
6,8	65,9	0,050	$d=65,9(1-e^{-0,050\,t})$	$3,30\ e^{-0,050\,t}$
6,6	61,8	0,031	$d=61,8(1-e^{-0,031\,t})$	$1,92\ e^{-0,031\,t}$

Les courbes II comportent une partie sensiblement rectiligne dont les limites varient avec l'activité du révélateur. Dans cette région, la vitesse de formation du voile est constante. Ce fait a été constaté (3) dans un développement à 21° C après une imprégnation à froid pour des temps de développement inférieurs à 70 mn sur des plaques NT 4 de 200 μ dont les conditions d'exposition n'étaient pas précisées.

D'autre part, les densités de voile, dans un traitement à froid, déterminées par A.J. Herz (4), indiquent elles aussi une vitesse de développement sensiblement constante jusqu'aux environs de 100 mn. Au-delà de ce temps, la vitesse diminue et la densité de voile semble tendre vers une limite.

Ahmad et Demers (5) ont donné une courbe de croissance du voile avec le temps dans un développement à froid par un révélateur à base de chlorohydroquinone. Cette courbe est, pour des durées de développement inférieures à 150 mn, identique à la courbe II de la figure 7. Mais le temps de développement n'a pas été assez prolongé pour qu'une variation de vitesse soit sensible. Il faut toutefois observer que les résultats précédents (3), (4) et (5) ont été obtenus avec des émulsions dont les conditions d'exposition n'étaient pas en général précisées et dans lesquelles le voile γ et le voile chimique coexistent dans des proportions inconnues.

L'interprétation de la première partie des courbes II relative à la première phase est plus délicate. Ces portions des courbes indiquent que les vitesses de développement y varient beaucoup avec le *p*H du révélateur. Le phénomène y est très complexe ; ce serait (6) pendant

cette période qu'apparaît presque complètement le voile dit « voile d'émulsion », le voile de révélateur n'apparaissant que par la suite.

C'est la partie rectiligne des courbes II qui présente le plus d'intérêt pour le cas qui nous occupe ; elle se trouve dans les limites de temps de développement où le voile total tend vers sa densité maximum.

L'application de la méthode des moindres carrés conduit facilement à l'équation de cette portion des courbes, d'où l'on déduit la vitesse V' de développement du voile de révélateur dans l'intervalle de temps considéré. Les résultats sont donnés dans le tableau II. On remarque que l'influence du *p*H du révélateur sur la vitesse de développement après 30 mn est faible, alors qu'elle est très grande au

TABLEAU II

*p*H du révélateur	V' grains/1 000μ^2/mn	
7,1	0,31	entre 30 et 120 mn
6,8	0,32	entre 30 et 150 mn
6,6	0,37	entre 45 et 150 mn

début du développement. Un certain nombre de grains initialement susceptibles de donner des grains de voile de développement ont été impressionnés lors de l'exposition. Si l'on admet que la distinction entre grains exposés et grains non exposés est surtout une question de cinétique, la vitesse de développement des premiers étant plus grande, il semble logique de penser que tous les grains porteurs d'image latente sont développés lorsque la vitesse de développement du voile dans les plaques exposées devient égale à la vitesse de développement du voile dans les plaques témoins, ce qui conduit à arrêter le développement au bout d'un temps t pour lequel $V = V'$.

Le tableau III donne les temps de développement ainsi calculés et les densités respectives de voile total et de voile chimique atteintes, pour les trois révélateurs utilisés. On voit que les densités atteintes pour ces temps de développement représentent respectivement 92,5 %, 90,3 % et 80,6 % des densités maxima correspondantes de voile total et 58 %, 49 %, 20 % des densités maxima correspondantes pour le voile chimique, les rapports des densités de voile γ aux densités de voile chimique étant respectivement : 0,72,

0.88, 4.5. Pour le révélateur de *p*H 6,6, ce rapport passe à 6,8 en limitant le développement à 45 mn.

TABLEAU III

*p*H du révélateur	Temps de développement en minutes	Densités de voile total en grains/1 000μ^2	Densités de voile chimique en grains/1 000μ^2
7,1	42,5	62,9	36,2
6,8	46,7	59,5	31,7
6,6	53	49,8	9

5° *Conclusion*

Il semble avantageux, pour faire la discrimination entre le voile chimique et le voile γ, d'utiliser d'une part le révélateur à l'Amidol à un *p*H assez bas et de limiter d'autre part le temps de développement.

Pour les révélateurs de *p*H 7,1 et 6,8 par exemple, un développement prolongé au-delà de 120 mn n'aurait pas fait apparaître de différences significatives entre les densités de voile des plaques exposées et celles des plaques témoins.

Le révélateur de *p*H 6,6 permet, par contre, une bonne discrimination dans des limites de temps beaucoup plus étendues.

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE III

1. C.E.K. Mees, *The Theory of the photographic process*, New-York, 1952.
2. L.P. Clerc, *Structure et propriétés des couches photographiques*, Paris, 1948, p. 100.
3. A.C. Coates, *Fundamental Mechanisms of photographic sensitivity*, Londres, 1951, p. 320.
4. A.J. Herz, *Jl. Sc. Instr.*, 1952, 29, 15.
5. I. Ahmad et J. Demers, *Canad. Jl. Phys.*, 1959, 37, 1548.
6. R.W. Simpson, *Phot. Sci. Enging.*, 1958, 1, 119 ; *Sc. Ind. Phot.*, 1958, 29, 227.

CHAPITRE IV

Influence des conditions du traitement sur la diffusion parasite dans les émulsions nucléaires

1. — Introduction

Les traces de particules enregistrées dans les émulsions nucléaires peuvent subir, lors du traitement, des distorsions qui perturbent les mesures de diffusion multiple. Ces déformations qui se présentent sous forme de courbure des traces en C ou en S et qui s'étendent sur une assez grande longueur, peuvent être détectées en général assez facilement et leur influence sur les mesures peut être évaluée et corrigée.

Biswas, Peters et Rama ont mis, par ailleurs, en évidence (1) des déformations d'un autre type qui nuisent elles aussi à la précision des mesures de diffusion multiple ; elles limitent même les énergies accessibles par cette méthode. Elles sont difficiles à déceler et à corriger du fait qu'elles se comportent comme la diffusion multiple. On donne à ce phénomène le nom de diffusion parasite (spurious scattering).

L'étude de la diffusion parasite a donné lieu à un certain nombre de travaux (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) et (8). Il résulte de ceux-ci que ces déformations existent dans toutes les émulsions, qu'il s'agisse de pellicules ou d'émulsions coulées directement sur un support de verre. Leur importance varie beaucoup, non seulement d'un lot d'émulsions à un autre, mais à l'intérieur d'une même plaque pour des traces différentes. On a constaté que ces déformations étaient, en général, plus faibles dans la partie de l'émulsion voisine du verre et

qu'elles affectaient plus spécialement les traces inclinées sur le plan de l'émulsion.

Plusieurs hypothèses ont été avancées sur leurs causes : on a pensé au développement de colonies de bactéries dans la gélatine, à l'existence de produits du fixage insolubles ou à des contraintes locales dans la gélatine.

Pour d'autres auteurs (9), la diffusion parasite serait due à un type particulier de distorsion, connue sous le nom de distorsion « chopping ». Il s'agit d'un phénomène très localisé qui serait une conséquence de certains traitements (9), (10) et non pas un phénomène lié à la nature de l'émulsion.

Les auteurs de la plupart des travaux publiés ont évalué, par la méthode de la flèche, l'angle moyen de diffusion parasite pour différentes longueurs de cellule dans le but de séparer cette dernière de la diffusion vraie.

Dépaux, Desprez-Rebaud et Tsai-Chü (8) ont montré comment la diffusion parasite intervenait dans les produits des différences secondes successives et dans leur valeur quadratique moyenne. Ils ont constaté que la perturbation apportée augmente moins vite, avec la longueur de cellule, dans le premier cas que dans le second. Cette remarque leur a permis d'éliminer la diffusion parasite. Une autre méthode d'élimination de la diffusion parasite à l'aide des différences troisièmes a été proposée par Iursunov, Charnikov et Sharapov (15).

Par contre, on ne dispose que de peu de renseignements sur le rôle des différents traitements que peut subir une émulsion.

Judek (7) a étudié la diffusion parasite dans des plaques Ilford G5 et K5 développées dans différentes conditions, en considérant plus particulièrement l'influence de la température de développement et de la solution révélatrice.

Cet auteur est arrivé aux conclusions suivantes :

La diffusion parasite dépend de la température de développement; si elle varie peu entre 5° et 10°, elle augmente au-dessus de 10° et dans quelques cas une augmentation marquée s'est produite aux environs de 25°. Quelques variations d'un lot de plaques à un autre ont été observées. On n'a pas constaté de différences caractéristiques entre les G5 et les K5 et l'influence de la solution révélatrice, notamment son *p*H, est peu marquée. Ce travail a montré la possibilité d'une réduction de la diffusion parasite plus importante que ne le laissait prévoir les publications antérieures. Cette réduction peut aussi être due à l'utilisation d'un fixateur tannant obtenu par addition d'alun de potassium à la solution d'hyposulfite de sodium.

Dans un travail récent [Bonetti et collaborateurs (14)], les

résultats obtenus dans différents traitements ont été comparés. La comparaison portait particulièrement sur des émulsions traitées par un stade chaud à sec et par un réchauffement dans un bain sans Amidol. Quelques plaques avaient subi avant traitement un trempage à l'eau distillée additionnée de sulfate de sodium.

Des différences notables sont apparues quant à la diffusion parasite, mais les variations constatées d'une plaque à une autre et entre différentes régions d'une même plaque ne permettent pas de les imputer au seul traitement.

Nous nous sommes proposés d'étudier l'influence, sur la diffusion parasite, de quelques paramètres du traitement. Nous avons plus spécialement porté notre attention sur la température de développement et sur les conditions de glycérinage et de séchage final.

Une émulsion traitée a subi une contraction notable sur laquelle influe le taux de glycérine introduit. La vitesse de séchage conditionne le temps au bout duquel l'état final est atteint et, dans une certaine mesure, l'homogénéité des tensions dont la gélatine est l'objet.

2. — Méthode expérimentale

Exposition

Divers types de pellicules d'émulsion nucléaire de 400 μ d'épaisseur comprenant : des pellicules N.I.K.F.I. hypersensibilisées du type R et des pellicules Ilford G5, ont été exposées à un faisceau de mésons π négatifs de $(1{,}5 \pm 0{,}2)$ Bev/c de l'accélérateur « Saturne » à Saclay. La densité moyenne des traces dans un plan perpendiculaire au plan de l'émulsion a été de $3{,}5 \cdot 10^4/cm^2$.

Traitement des pellicules

Les pellicules ont été collées sur un support de verre avant traitement.

Toutes les pellicules du type R et quelques G5 ont été collées suivant la méthode indiquée par la notice N.I.K.F.I. sur des plaques de verre traitées au laboratoire (collage n° 1).

Les pellicules G5 ont été collées sur du verre spécial Ilford par l'une des techniques courantes (10) (collage n° 2).

Méthode de collage n° 1

Composition de la solution :

— Gélatine ..... 4 g
— Silicate de sodium ..... 7 g

— Thymol ..... 0,5 g
— Alun de chrome ..... 0,75 g
— Eau distillée pour faire ..... 1 l

Mode opératoire

La solution précédente a été utilisée, d'une part pour former la couche de support sur le verre, d'autre part pour fixer la pellicule. Pour réaliser la seconde opération, on plonge la plaque, portant une couche de support, dans la solution ; on y applique la pellicule et on la fait adhérer à l'aide d'un rouleau de caoutchouc dans la solution même.

Méthode de collage n° 2

Composition de la solution :

— Gélatine ..... 20 g
— Teepol ..... 4 cm³
— Eau distillée pour ..... 1 l

Mode opératoire

Il se distingue du précédent par le fait que la pellicule n'est pas immergée dans la solution. La solution de gélatine est appliquée à l'aide d'un pinceau sur la face brillante de la pellicule. Cette dernière est mise en contact avec une plaque de verre Ilford spécialement traitée qui a été lavée avec de l'eau distillée additionnée de quelques gouttes de Teepol. La pellicule étant protégée par une feuille de matière plastique, l'adhérence est obtenue à l'aide d'un rouleau de caoutchouc et est maintenue au début du séchage en plaçant sur la feuille de plastique une plaque de verre portant une charge.

Développement

Les émulsions ont été développées en deux séries, à l'aide de deux bains révélateurs différents.

Première série. — Révélateur A, indiqué par la notice N.I.K.F.I. pour les émulsions du type R :

— Sulfite de sodium anhydre ..... 10 g
— Amidol ..... 3 g
— Acide citrique ..... 1,9 g
— Eau distillée pour faire ..... 1 l

Deuxième série. — Révélateur B :

— Sulfite de sodium anhydre	10 g
— Amidol	3 g
— Solution de Bromure de potassium à 10 %	8 cm³
— Eau distillée pour faire	1 l

La méthode classique de développement en deux températures a été utilisée, sauf pour quelques plaques traitées uniquement à froid.

Le réchauffement à sec (40 mn à 24°) ainsi que le fixage, la dilution du fixateur et le lavage final ont été les mêmes pour les deux séries :

Fixateur :

— Hyposulfite de sodium	400 g
— Métabisulfite de potassium	10 g
— Eau distillée	1 l

Après 40 h de fixage à 4°5, au cours desquelles le bain fixateur a été renouvelé deux fois, la solution a été pompée doucement et remplacée par une solution de même composition relative mais dont la teneur en hyposulfite était réduite à 320 g/l. La concentration du bain fixateur a été ainsi abaissée par remplacement du bain, sans manipulation des plaques, toutes les deux heures pour arriver finalement à une solution ne contenant plus que 40 g d'hyposulfite pour 1 litre avant le passage à l'eau pure.

Deux bains de glycérinage à 2 % et 6 % ont été employés et les émulsions ont été séchées de deux façons différentes.

Le séchage, que nous appellerons séchage rapide, s'est effectué dans une enceinte disposant d'une forte ventilation à température et humidité contrôlées. Les plaques y ont séjourné 12 h à 24° sous une humidité relative de 56 % ; elles semblaient complètement sèches au bout de quelques heures.

L'autre série de séchages, que nous appellerons séchages lents, s'est effectuée dans une salle bien isolée, sans ventilation, dans laquelle la température et l'humidité n'ont pas sensiblement varié pendant la durée de chaque opération. Dans ce cas, le séchage a demandé 40 h environ.

Le tableau 1 résume l'ensemble des opérations subies par chaque plaque et indique les conditions de chacune d'elles.

Le tableau 2 donne, pour les deux taux de glycérinage et les deux types de plaques, l'épaisseur moyenne finale à une humidité relative de $(57 \pm 2)\%$.

TABLEAU I

Désignation des plaques	Nature de l'émulsion	Mode de collage sur verre	Développement			Arrêt de développement			Fixage à 4°5	Dilution à 4°5	Lavage à 4°5	Glycérinage		Séchage	
			Eau distillée à 4°5	Révélateur à 4°5 nature-durée	Réchauffement à sec 24°	Refroidissement à sec	Acide acétique 1 % 4°5	Lavage eau distillée 4°5				Solut. de glycérine	Durée à 4°5	Humidité	Température
RS 20	R											6 %	3 h 30	55 %	24°
RS 16 - RS 17	R											2 %	3 h 30		
RS 21	R			A								6 %	3 h 30		
RS 18 - RS 19	R	N° 1	3 h	3 h	40 mn	15 mn	1 h	1 h	40 h	20 h	10 h			77 %	23°
S 24	G5											2 %	3 h 30		
S 23	G5			A											
RS 15	R			3 h 55	X	X									
S 31 - S 32	G5											6 %	3 h		
S 27 - S 28	G5	N° 2	2 h	B	40 mn	15 mn	1 h 30	1 h	40 h	20 h	10 h	2 %	3 h	56 %	24°
S 29	G5			2 h								6 %	3 h		
S 25	G5											2 %	3 h	74 %	22°
RS 13	R	N° 1		B	40 mn	15 mn						2 %	3 h		
RS 14	R		2 h	2 h			1 h 30	1 h	40 h	20 h	10 h			74 %	22°
S 33	G5	N° 2		B 2 h 55	X	X									

TABLEAU 2

Epaisseurs finales des émulsions

	Glycérinage 2 %	Glycérinage 6 %
Plaques R	177 μ	225 μ
Plaques G5	183 μ	236 μ

Méthodes de mesures :

On a effectué deux séries de mesures, dans la région centrale des plaques, suivant la méthode de la flèche. Pour chaque variation, deux plaques ont été traitées simultanément.

Première série de mesures (longueur de cellule $s = 15\mu$ (1) :

A l'aide de deux micromètres à tambour, à réticules croisés montés sur la tête binoculaire d'un microscope Leitz Ortholux, on a relevé six mesures de flèches sur chaque portion de trace de 75μ de longueur, se trouvant dans la partie utile du champ du microscope. L'un des micromètres permettait de mesurer la flèche, l'autre de définir la longueur de cellule. On a exploré ainsi, dans chaque champ, toute l'épaisseur de l'émulsion, en notant pour chaque trace sa profondeur.

En déplaçant la platine perpendiculairement à la direction moyenne du faisceau, on a utilisé 300 sections de trace par plaque. La connaissance de la cote de chacune d'elles permettait de les classer en trois catégories correspondant chacune à 1/3 de l'épaisseur totale de l'émulsion.

Seconde série de mesures (longueur de cellule $s = 100\mu$) :

La direction moyenne du faisceau étant alignée parallèlement au déplacement de la platine d'un microscope Koristka MS 2, on a choisi des traces restant sur un parcours de 4,5 mm environ dans l'une des tranches de l'émulsion précédemment considérées. De cette façon,

(1) Cette série de mesures a été faite par M. le Professeur Scherer et Mlle Claudette Patou, attachée de recherche.

on a effectué des mesures de flèches, avec une cellule de 100μ, sur 10 traces par tranche.

Les mesures ont été conduites de façon à utiliser dans tous les cas la même section de la vis commandant la platine, tous les pointés de même ordre étant faits sur le même cran de l'avance automatique de cette vis.

Pour chaque série de mesures, on a calculé les différences premières D_1, les différences secondes D_2 et les différences troisièmes et quatrièmes D_3 et D_4 et déterminé la moyenne des valeurs absolues $|\overline{D_2}|$, $|\overline{D_3}|$ et $|\overline{D_4}|$.

Dans les deux séries de mesures, on a éliminé :

1°) les traces inclinées sur le plan de l'émulsion.

2°) les traces s'écartant de la direction moyenne du faisceau.

3°) les traces dont la densité de grains ne correspondait pas au minimum.

Etant donné l'énergie des particules, 1,5 Bev/c, la contribution de la diffusion multiple vraie, pour des cellules de 15μ et de 100μ, est négligeable par rapport aux bruits et à la diffusion parasite.

La première série de mesures (s 15μ) était destinée à mettre en évidence des déformations d'assez forte amplitude, s'étendant sur une faible longueur de trace, dont certaines étaient directement observables sous le microscope. C'est ce que nous appellerons dans la suite les déformations du premier type.

La seconde série de mesures devait permettre de préciser l'amplitude et le nombre des déformations s'étendant sur une plus grande longueur de trace. Nous dirons qu'il s'agit de déformations du deuxième type.

Par ailleurs les cellules de 100μ seront utilisées comme cellules de base pour étudier l'influence de la diffusion parasite sur des celules plus longues.

Étude des bruits

Les mesures de ce genre sont perturbées par différentes causes d'erreurs (1) :

1° Bruit de lecture.
2° Bruit de platine.
3° Bruit de grains.
4° Bruit de température.

Bruit de lecture :

Ce bruit est dû à la difficulté que l'on rencontre pour faire coïncider le fil du réticule avec le centre des grains. On l'évalue de

la façon suivante (1) : après avoir effectué une mesure sur une portion de trace, on la répète en considérant à nouveau les mêmes points de la trace que lors de la mesure initiale. Soient y_i et y_i' les deux flèches successivement trouvées. On forme les quantités $y_i - y_i'$ à partir desquelles on calcule successivement les différences premières, secondes, troisièmes et quatrièmes dont les moyennes des valeurs absolues sont respectivement : δ_1, δ_2, δ_3 et δ_4.

En désignant par :

ε_{2l} le bruit de lecture sur $|\overline{D_2}|$
ε_{3l} le bruit de lecture sur $|\overline{D_3}|$
ε_{4l} le bruit de lecture sur $|\overline{D_4}|$

on aura : $$\varepsilon_{jl} = \sqrt{2}\,\delta_j$$

Les résultats, pour les deux séries de mesures et les deux types d'émulsions, sont donnés dans les tableaux 3 et 4.

On remarque que le bruit de lecture a été plus faible dans les G 5. Ceci est dû à un développement relativement moins poussé qui a conduit à un meilleur contraste.

Bruit de platine :

Il résulte des imperfections du mouvement de translation de la platine ; il n'est intervenu que dans la deuxième série de mesures. On peut le déterminer de plusieurs façons ; nous avons utilisé la méthode suivante (1) :

Comme précédemment, la mesure est répétée sur chaque portion de trace, mais la seconde lecture est faite en utilisant une section différente de la vis qui commande le mouvement de la platine. Soient y_i et y_i'' les deux séries de flèches mesurées. Un calcul analogue au précédent donne, en désignant par ε_{jlp} le bruit de platine et le bruit de lecture combinés sur la différence d'ordre j :

$$\varepsilon_{jlp} = \sqrt{2}\,\delta'_j$$

Les résultats sont donnés dans le tableau 5.

On aura pour le bruit de platine seul ε_{jp} :

$$(\varepsilon_{jp})^2 = (\varepsilon_{jlp})^2 - (\varepsilon_{jl})^2$$

On obtient, pour la série de mesures faites dans les plaques G5 :

$$\varepsilon_{2p} = (0{,}043 \pm 0{,}008)\mu$$

et dans les plaques du type R :

$$\varepsilon_{2p} = (0{,}042 \pm 0{,}012)\mu$$

TABLEAU 3

Plaques du type R — Bruit de lecture en microns

	ε_{2l}	ε_{3l}	ε_{4l}	δ_1/δ_2	δ_3/δ_2	δ_4/δ_2
$s = 100\ \mu$	0,143 ± 0,005	0,262 ± 0,011	0,459 ± 0,022	0,573	1,835	3,218
$s = 15\ \mu$	0,136 ± 0,006	0,247 ± 0,013	0,464 ± 0,029	0,581	1,816	3,412
Valeurs théoriques				0,577	1,825	3,415

TABLEAU 4

Plaques G5 — Bruit de lecture en microns

	ε_{2l}	ε_{3l}	ε_{4l}	δ_1/δ_2	δ_3/δ_2	δ_4/δ_2
$s = 100\ \mu$	0,130 ± 0,010	0,233 ± 0,018	0,442 ± 0,034	0,576	1,800	3,411
$s = 15\ \mu$	0,122 ± 0,006	0,222 ± 0,011	0,414 ± 0,026	0,583	1,820	3,393
Valeurs théoriques				0,577	1,825	3,415

TABLEAU 5

Bruits de lecture et de platine, en microns, pour $s = 100\mu$

	ε_{2lp}	ε_{3lp}	ε_{4lp}	δ_1/δ_2	δ_3/δ_2	δ_4/δ_2
Plaques R	0,149 ± 0,007	0,268 ± 0,014	0,496 ± 0,025	0,578	1,799	3,329
Plaques G5	0,137 ± 0,007	0,248 ± 0,012	0,449 ± 0,023	0,593	1,803	3,266

Les deux catégories de mesures conduisent à des résultats concordants qui montrent que le bruit de platine, pour cette longueur de cellule, est pratiquement négligeable devant le bruit de lecture. Il faut tenir compte du fait que, lors de la seconde lecture, il est difficile de retrouver rigoureusement les mêmes pointés ; il en résulte que la quantité ε_{2p}, ainsi affectée par un bruit de grains, conduirait à surestimer le bruit de platine.

De plus, les valeurs des rapports $\frac{\delta_1}{\delta_2}, \frac{\delta_3}{\delta_2}, \frac{\delta_4}{\delta_2}$ données dans le tableau 5 ne sont pas différentes des valeurs des mêmes rapports pour le bruit de lecture seul. C'est cependant cette valeur ε_{jlp} qui a été retenue pour effectuer les corrections sur les $|\overline{D_j}|$.

Bruit de grains :

Il est dû à la dispersion des centres des grains développés autour de la trajectoire réelle de la particule. On peut l'estimer par une méthode analogue aux précédentes (1), la seconde mesure étant dans ce cas effectuée avec un léger décalage de la trace par rapport à la première série de pointés.

Dans le cas présent, cette estimation n'a pas été faite ; il nous a semblé difficile de séparer ce bruit des déplacements des grains dus à d'éventuelles déformations de la gélatine.

Bruit de température :

En plus des précédentes, une cause d'erreur, due aux variations de température qui entraînent une dilatation de certaines parties du microscope, a été signalée (1), (11).

Toutes nos mesures ont été faites dans une salle climatisée où la température et l'humidité ont été maintenues constantes

$$[t = (22 \pm 1)^\circ\ ,\ h = (57 \pm 2)\,\%]$$

Le bon accord des valeurs des rapports $\frac{\delta_1}{\delta_2}, \frac{\delta_3}{\delta_2}$ et $\frac{\delta_4}{\delta_2}$ pour le bruit de lecture, déterminés expérimentalement, avec les valeurs théoriques (1) montre que nos mesures n'ont pas été entachées d'erreurs provenant des variations de température.

En outre, la constance de l'humidité relative mettait l'émulsion à l'abri des variations d'épaisseur pendant les mesures.

Elimination des bruits :

Si l'on désigne par ε_j la contribution des bruits sur la différence d'ordre j (dans notre cas, ε_j est réduit à ε_{jl} pour $s = 15\ \mu$ et à ε_{jlp} pour $s = 100\ \mu$),

on aura :

$$\left(|\overline{D_j}| \text{ corrigé}\right)^2 = \left(|\overline{D_j}|\right)^2 - (\varepsilon_j)^2$$

La correction n'a été faite que dans les cas où $|\overline{D_j}| \leq 4\ \varepsilon_j$ c'est-à-dire si elle entraînait une variation relative de $|\overline{D_j}|$ supérieure à 5 % environ.

Les valeurs absolues des différences secondes corrigées sont données dans le tableau 6 pour l'ensemble de chaque plaque et dans les tableaux (7 A - 7 B - 8 A et 8 B) pour les trois tranches envisagées.

On a également indiqué, dans ces quatre derniers tableaux les valeurs des rapports des différences troisièmes et quatrièmes aux différences secondes et le pourcentage des $|D_2|$ comprises dans deux classes principales : $0{,}3\ \mu \leq |D_2| < 0{,}9\ \mu$ et $|D_2| \geq 0{,}9\ \mu$.

TABLEAU 6

Valeurs arithmétiques moyennes des différences secondes, $|\overline{D_2}|$ en microns pour l'ensemble de chaque plaque

	Désignation des plaques	$s = 15\ \mu$	$s = 100\ \mu$
Plaques R	RS 15	0,246 ± 0,008	0,446 ± 0,016
	RS 13	0,249 0,010	
	RS 14	0,257 0,009	0,492 0,016
	RS 21	0,313 0,013	0,538 0,019
	RS 18-19	0,274 0,012	0,622 0,023
	RS 16-17	0,347 0,015	0,792 0,027
	RS 20	0,378 0,016	0,873 0,034
Plaques G5	S 24	0,205 ± 0,009	0,243 ± 0,006
	S 23	0,166 0,007	0,332 0,014
	S 29	0,239 0,009	0,342 0,013
	S 27-28	0,235 0,009	0,421 0,020
	S 25	0,218 0,008	0,442 0,022
	S 33	0,215 0,009	
	S 31-32	0,252 0,009	0,467 0,020

TABLEAU 7 A

Plaques R $s = 15\mu$

Plaques	Tranches	$\overline{\lvert D_2 \rvert}$ en μ	$0{,}3 \leqq \lvert D_2 \rvert < 0{,}9$ %	$\lvert D_2 \rvert \geqq 0{,}9$ %	$\frac{\overline{\lvert D_3 \rvert}}{\overline{\lvert D_2 \rvert}}$	$\frac{\overline{\lvert D_4 \rvert}}{\overline{\lvert D_2 \rvert}}$
RS 15	I	0,171 ± 0,012	27	0,25	1,63	2,90
	II	0,253 0,012	37	1,25	1,76	3,27
	III	0,312 0,018	38,5	5.25	1,70	3,16
RS 13	I	0,178 ± 0,014	22,75	1,75	1,73	2,98
	II	0,217 0,015	34,5	0,75	1,76	3,11
	III	0,347 0,022	40,75	8.25	1,73	3,17
RS 14	I	0,201 ± 0,012	30	0,5	1,79	3,24
	II	0,206 0,016	34.5	1,25	1,79	3,34
	III	0,357 0,018	46,25	6,5	1,83	3,40
RS 21	I	0,180 ± 0,014	22,5	0,75	1,85	3,53
	II	0,353 0,024	36,25	9	1,71	3,09
	III	0,401 0.024	41,25	12,5	1,74	3,13
RS 18 RS 19	I	0,206 ± 0,012	33,25	0.25	1,82	3,43
	II	0,246 0,022	37,25	2,75	1,54	2,69
	III	0,355 0,026	41	6,75	1,77	3,37
RS 16 RS 17	I	0,227 ± 0,018	31.25	2,25	1,81	3,52
	II	0,368 0,024	44,5	7,25	1,75	3,03
	III	0,443 0,034	38,75	12,75	1,71	3,03
RS 20	I	0,253 ± 0,022	24,25	5,75	1,64	2,73
	II	0,393 0.025	42.75	10,25	1,73	3,12
	III	0,487 0,032	33,25	17,5	1,76	3,28

TABLEAU 7 B

Plaques R $s = 100\mu$

Plaques	Tranches	$\overline{\lvert D_2 \rvert}$ en μ	$0{,}3 \leqq \lvert D_2 \rvert < 0{,}9$ %	$\lvert D_2 \rvert \geqq 0{,}9$ %	$\frac{\overline{\lvert D_3 \rvert}}{\overline{\lvert D_2 \rvert}}$	$\frac{\overline{\lvert D_4 \rvert}}{\overline{\lvert D_2 \rvert}}$
RS 15	I	0,138 ± 0,026	24,1	0,5	1,47	2,42
	II	0,216 0,015	33,7	2,6	1,74	3,21
	III	0,881 0,041	43,6	35,4	1,80	3,34
RS 14	I	0,204 ± 0,013	33,9	2,1	1,77	3,32
	II	0,646 0,026	35,2	18,2	1,79	3,25
	III	0,559 0,036	41,7	29,8	1,73	3,14
RS 21	I	0,191 ± 0,017	29,3	1,9	1,54	2,78
	II	0,544 0,030	44,3	17,9	1,78	3,28
	III	0,805 0,041	43,2	31,2	1,78	3,20
RS 18	I	0,153 ± 0,016	21,4	2,2	1,54	2,75
RS 19	II	0,764 0,043	39,9	28,4	1,74	3,18
	III	0,845 0,041	42,3	35,1	1,76	3,24
RS 16	I	0,226 ± 0,013	36	2,6	1,41	
RS 17	II	1,116 0,058	31,8	51,2	1,82	
	III	1,260 0,058	31,6	50,7	1,80	
RS 20	I	0,207 ± 0,015	32,8	2	1,61	2,78
	II	0,461 0,029	49	10,9	1,77	3,3
	III	1,955 0,106	27,5	61,1	1,76	3,25

TABLEAU 8 A

Plaques G5 $s = 15\mu$

Plaques	Tranches	$\overline{\lvert D_2 \rvert}$ en μ	$0{,}3 \leqq \lvert D_2 \rvert < 0{,}9$ %	$\lvert D_2 \rvert \geqq 0{,}9$ %	$\frac{\overline{\lvert D_3 \rvert}}{\overline{\lvert D_2 \rvert}}$	$\frac{\overline{\lvert D_4 \rvert}}{\overline{\lvert D_2 \rvert}}$
S 24	I	0,167 ± 0,013	30	0,25	1,77	3,13
	II	0,207 0,016	31	1,25	1,70	3,17
	III	0,239 0,014	36,25	2	1,80	3,23
S 23	I	0,140 ± 0,012	25	0	1,89	3,55
	II	0,177 0,016	30,25	0,75	1,67	2,99
	III	0,179 0,012	24	0	1,76	3,18
S 29	I	0,165 ± 0,012	28,5	0,5	1,88	3,71
	II	0,318 0,021	38,25	4,5	1,77	3,18
	III	0,226 0,016	35,25	2	1,78	3,22
S 27 S 28	I	0,235 ± 0,015	33	2,25	1,80	3,36
	II	0,232 0,016	32,75	1,75	1,80	3,31
	III	0,237 0,016	36,25	1,25	1,81	3,39
S 25	I	0,162 ± 0,013	26	0,5	1,69	3,03
	II	0,237 0,015	33,25	2,25	1,73	3,21
	III	0,248 0,014	35,5	2,5	1,77	3,11
S 33	I	0,168 ± 0,012	26	0,25	1,70	3,14
	II	0,220 0,015	32,75	1	1,75	3,26
	III	0,255 0,016	36	2,5	1,80	3,33
S 31 S 32	I	0,143 ± 0,013	22,75	0	1,84	3,46
	II	0,338 0,025	34,5	8	1,75	3,13
	III	0,266 0,015	38	1,75	1,85	3,51

TABLEAU 8 B

Plaques G5 $s = 100\mu$

Plaques	Tranches	$\overline{D_2}$ en μ	$0{,}3 \leqq D_2 < 0{,}9$ %	$D_2 \geqq 0{,}9$ %	$\frac{\overline{D_3}}{\overline{D_2}}$	$\frac{\overline{D_4}}{\overline{D_2}}$
S 24	I	0,054 ± 0,009	15,4	0	1,33	2,85
	II	0,285 0,016	41.2	4.3	1,82	3,48
	III	0,263 0,014	41	2,9	1,60	2,95
S 23	I	0,098 ± 0,010	21,4	0	1,56	2.84
	II	0,372 0,030	39,5	8,6	1,75	3,27
	III	0,406 0,028	42	10,5	1,71	3,05
S 29	I	0,238 ± 0,027	23,1	4,3	1,85	3,55
	II	0,387 0,020	44,5	10.3	1,85	3,42
	III	0,310 0,025	42,3	3,8	1,80	3,34
S 27 S 28	I	0,199 ± 0,013	31,3	2,4	1.72	3.15
	II	0,576 0,048	41,2	18,7	1.79	3,29
	III	0,423 0,033	40,1	10	1 75	3,23
S 25	I	0,496 ± 0,051	40	8,7	1,80	3,43
	II	0,532 0,041	43.9	12,7	1,81	3,40
	III	0,228 0,035	40,9	1.7	1,68	3,14
S 31 S 32	I	0,036 ± 0,016	11,9	0.9	1.76	4,05
	II	0,826 0,043	41,4	31,5	1,82	3,41
	III	0,403 0,030	47	7.9	1,80	3,39

3. — Examen des résultats

Comparaison des différents traitements d'après les $|\overline{D_2}|$ *de diffusion parasite pour l'ensemble de chaque plaque :*

1° Plaques du type R

L'examen du tableau 6 montre que le classement des traitements suivant les $|\overline{D_2}|$ croissants est le même pour les cellules de 15 μ et de 100 μ.

Le classement, qui apparaît inversé dans le cas des cellules de 15 μ pour les plaques RS 19 et RS 21, n'a pas été confirmé par une autre série de mesures sur une plaque différente RS 18 qui a subi les mêmes traitements.

Il semble donc qu'en moyenne les différents traitements influent de la même façon sur les deux types de déformations. D'autre part, les traitements à froid et le séchage lent apparaissent comme favorables ; ce sont par contre les séchages rapides qui ont conduit aux déformations les plus importantes.

Remarque. — Le révélateur n° 2 a donné, pour les deux séries de mesures, de bons résultats.

2° Plaques du type G5

Les deux classements établis pour les cellules de 15 μ et de 100 μ ne sont pas rigoureusement identiques. Mais les différences entre traitements sont moins marquées, surtout pour les cellules de 15 μ, que dans les plaques du type R. On peut cependant en tirer quelques conclusions communes :

Le séchage lent apparaît encore comme favorable et c'est le séchage rapide, avec un glycérinage de 6 %, qui produit la diffusion parasite la plus marquée.

Remarque. — Le traitement préconisé pour les plaques du type R a donné de ce point de vue les meilleurs résultats.

Comparaison des deux types de plaques :

En moyenne et quel que soit le traitement, les plaques G5 donnent des différences secondes de diffusion parasite inférieures à celles obtenues dans les plaques du type R. Ceci résulte du fait que les grandes déformations sont plus nombreuses dans ces dernières alors

que le nombre de petites et moyennes déformations est sensiblement le même dans les deux séries de plaques.

Le tableau (9) donne le pourcentage, pour l'ensemble de chaque série de plaques, des $|D_2|$ divisées en deux classes :

a) $0{,}3\ \mu \leq |D_2| < 0{,}9\ \mu$.

b) $|D_2| \geq 0{,}9\ \mu$.

TABLEAU 9

Classement des $|D_2|$ pour l'ensemble des plaques étudiées

	$s = 15\mu$		$s = 100\mu$	
	Plaques G5	Plaques R	Plaques G5	Plaques R
$0{,}3\mu \leq \|D_2\| < 0{,}9\mu$	31,5 %	35,3 %	35,7 %	35,8 %
$\|D_2\| \geq 0{,}9\mu$	1,7 %	5,4 %	7,5 %	19,1 %

La limite inférieure de 0,3 μ, qui correspond approximativement à deux fois la valeur moyenne des bruits, a été choisie pour caractériser une déformation. Pour des valeurs inférieures, il n'est pas possible de séparer diffusion parasite et bruits.

Etude de la diffusion parasite à différentes profondeurs dans l'émulsion :

Pour permettre une étude de la diffusion parasite à différentes profondeurs, l'émulsion a été divisée en trois tranches d'égale épaisseur comme indiqué précédemment.

Dans chaque tranche, les sommes des valeurs positives et celles des valeurs négatives pour les différences secondes et les différences d'ordre supérieur sont sensiblement égales, ce qui exclut la présence de distorsion générale.

L'examen des tableaux 7 et 8 met en évidence les différences qui apparaissent pour un même traitement entre des résultats obtenus à différentes profondeurs et permet de dégager quelques remarques générales.

Les rapports des $\overline{D_3}$ et $\overline{D_4}$ aux $\overline{|D_2|}$, sensiblement constants et égaux pour les deux séries de mesures, semblent indiquer qu'il

P_m (μ)	P_o (μ)	P_1 (μ)	$\overline{D_2}$ (μ)	P_m (μ)	P_o (μ)	P_1 (μ)	$\overline{D_2'}$ (μ)
16	29	4	0,319 ± 0,052	29	13	44	0,222 ± 0,035
23	41	5	0,206 0,016	61	17	106	0,194 0,027
40	58	22	0,229 0,018	66	50	82	0,113 0,013
53	14	92	0,191 0,015	69	29	106	0,316 0,123
62	99	25	0,258 0,020	76	20	133	0,112 0,014
77	59	95	0,184 0,014	82	59	116	0,166 0,033
79	104	54	0,190 0,015	87	54	120	0,149 0,017
80	58	102	0,206 0,016	90	89	91	0,124 0,013
84	93	76	0,202 0,016	104	84	125	0,158 0,020
102	108	97	0,438 0,034	117	104	130	0,144 0,019
157	153	162	0,370 0,029	167	148	187	0,253 0,034
175	193	157	0,381 0,030	189	146	232	0,780 0,156
175	211	140	0,399 0,031	203	204	202	0,702 0,077
180	198	162	0,360 0,028	206	222	190	0,597 0,070
196	241	151	0,764 0,060	211	264	158	0,500 0,077
200	216	184	0,320 0,025	215	229	202	1,053 0,105
201	220	182	0,372 0,029	224	239	209	1,253 0,159
210	229	191	0,493 0,038	228	254	202	1,424 0,201
212	238	186	0,644 0,050	258	264	253	0,578 0,054
215	218	213	0,553 0,043	318	330	306	0,461 0,055
298	285	310	0,985 0,133	323	372	274	0,350 0,044
308	344	272	1,189 0,291	325	379	273	0,564 0,090
311	295	328	0,736 0,114	327	364	291	0,356 0,054
322	290	353	0,926 0,081	327	349	306	0,426 0,042
331	324	339	1,229 0,137	335	344	327	0,329 0,039
335	356	315	1,985 0,281	340	354	327	0,302 0,040
357	355	358	2,517 0,382	340	323	357	0,337 0,054
359	382	337	2,804 0,320	343	389	298	0,417 0,042
363	398	328	3,182 0,249	371	367	377	0,687 0,223
372	385	360	2,437 0,190				

$\overline{D_2}$ non corrigées par segment de trace considéré suivant sa profondeur. (s = 100μ)
P_m : Profondeur moyenne P_o et P_1 : Profondeurs des extrémités du segment.

s'agit dans tous les cas du même phénomène et que les déformations mises en évidence par les deux séries de mesures sont de même nature. Celles du second type ne diffèrent de celles du premier que par le fait qu'elles s'étendent sur une plus grande longueur de trace.

On remarque tout d'abord que, pour les deux séries de mesures, dans les plaques du type R, le traitement a peu d'influence sur la tranche I (superficielle) comparativement aux deux autres. En ce qui concerne les G5, ce sont les tranches I et III, où les valeurs moyennes sont en général plus groupées, qui semblent peu sensibles aux variations de traitement. Ce dernier point s'accorde avec la constatation déjà faite d'une diffusion parasite plus faible près du support de verre dans ce type d'émulsion.

On constate d'autre part que, pour les plaques du type R, c'est la tranche III qui est généralement la plus déformée tandis que c'est la tranche II dans les plaques G5.

Cette variation en profondeur est mise en évidence dans les plaques RS 20 et S 31 où elle est particulièrement marquée ; il s'agit de deux plaques ayant subi le séchage rapide. Les tableaux 10 et 11

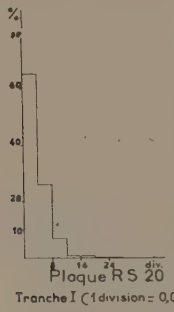


FIGURE : IV – 1

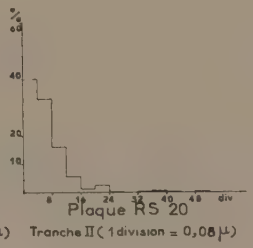


FIGURE : IV – 2

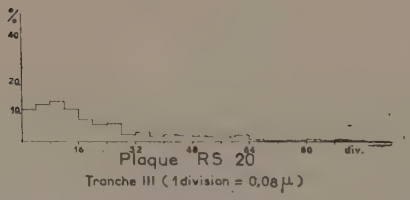


FIGURE : IV – 3

donnent, pour ces deux plaques, la valeur arithmétique moyenne non corrigée des différences secondes pour chaque portion de trace étudiée avec des cellules de 100 μ, classées en profondeurs crois-

santes. Ces tableaux indiquent de plus (en microns) les profondeurs P_0 et P_1 des deux extrémités des segments de trace considérés.

Les histogrammes des figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 donnent pour les deux plaques la distribution, en %, des valeurs absolues des différences

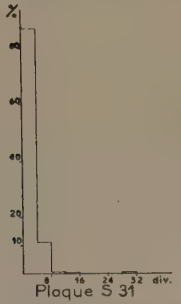


FIGURE IV – 4

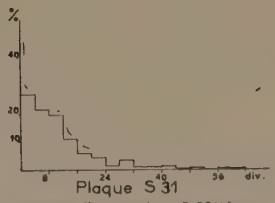


FIGURE : IV – 5

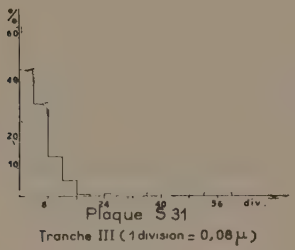


FIGURE . IV – 6

secondes pour chacune des tranches d'émulsion considérées. On y voit clairement que les plus grandes valeurs de $|D_2|$ sont apparues dans la tranche III dans la plaque du type R et dans la tranche II de la plaque G5. Cette particularité des deux types de plaques n'a présenté que deux exceptions : RS 14 pour la deuxième série de mesures (s = 100 μ) et S 24 pour la première (s = 15 μ). Il est intéressant d'observer que, pour ces deux plaques, les traitements ont été interchangés, la plaque R ayant été traitée par le révélateur habituel des G5 et réciproquement. Il s'agit de plus, pour RS 14, d'un traitement à froid.

Influence du glycérinage et du séchage :

Les plaques suivantes du type R : RS 20, RS 16, RS 17, RS 21, RS 22, RS 18 et RS 19 ont été développées par le révélateur n° 1 dans ses

conditions normales d'emploi. De même, les plaques du type G5 : S 31, S 32, S 27, S 28, S 29 et S 25 ont été traitées normalement par le révélateur n° 2. Par contre, des combinaisons différentes de glycérinage et de séchage sont intervenues, ce qui permet de rechercher le rôle de ces deux facteurs.

Rôle du séchage à glycérinages équivalents :

Pour les deux taux de glycérinage (2 % et 6 %) et pour les plaques R, le séchage lent donne de meilleurs résultats que le séchage rapide. Il y a exception pour la tranche II de RS 21, mais la différence avec la tranche correspondante de RS 20 est d'ailleurs peu significative.

Les conclusions sont les mêmes pour les plaques G5, avec cependant deux exceptions pour les tranches I de S 25 et de S 29. Il est à noter que ces deux régions de plaques ont donné une proportion de grandes déformations du deuxième type très notablement supérieure à celle obtenue dans les régions correspondantes des autres plaques.

D'une façon générale, le séchage lent donne, en moyenne, de meilleurs résultats que le séchage rapide et doit lui être préféré. On remarquera, par exemple, que les proportions importantes de grandes déformations du deuxième type ($|D_2| \geqq 0{,}9\ \mu$) ont été obtenues par le séchage rapide.

Influence du glycérinage :

a) *Séchage rapide :* Pour les plaques du type R, le glycérinage de 2 % donne de meilleurs résultats que celui de 6 % en moyenne et dans chaque tranche, sauf dans la tranche II de RS 16 pour la seconde série de mesures.

Pour les plaques du type G5, le glycérinage de 2 % donne un peu moins de déformations que celui de 6 %, mais les différences ne sont pas très significatives, sauf dans les tranches I où, dans les deux séries de mesures, le glycérinage de 6 % apparaît plus satisfaisant.

b) *Séchage lent :* La comparaison des résultats obtenus pour les glycérinages de 2 % et de 6 % montre que, pour les déformations du deuxième type et surtout dans les G5, le second donne de meilleurs résultats. Au contraire, c'est le glycérinage de 2 % qui donne les résultats les plus favorables pour les déformations du premier type.

Un taux de glycérinage élevé apparaît comme pouvant atténuer les déformations étendues.

Influence de la température :

Si l'on compare, dans le tableau 7 B, les résultats obtenus pour la plaque RS 15 développée uniquement à froid à ceux donnés par les plaques RS 18 et RS 19 ayant subi un réchauffement, on remarque que le traitement à froid apporte une légère amélioration qui se manifeste surtout dans la tranche II et pour les déformations du deuxième type. Par contre, le traitement à froid n'a pas modifié sensiblement les déformations du premier type, ce que confirment les résultats obtenus sur une plaque G5 : S 33.

Rôle du révélateur :

a) *Cas d'un traitement normal avec réchauffement.*

Les mesures faites sur des plaques du type R (RS 13, RS 18 et RS 19) et du type G5 (S 24 et S 25), dans lesquelles un échantillon de chaque plaque a été traité par un des deux révélateurs, n'ont pas fait apparaître pour les déformations du premier type de différences significatives.

En ce qui concerne la plaque S 24 qui est nettement plus satisfaisante pour les déformations du deuxième type, il faut remarquer que cette pellicule a subi le traitement complet des pellicules du type R, collage compris.

b) *Cas d'un traitement à froid.*

Comparaison des résultats des plaques RS 15 *et* RS 14 *d'une part,* S 23 *et* S 33 *d'autre part.*

Comme dans le cas précédent, aucun des deux révélateurs ne semble l'emporter sur l'autre. Il faut cependant également observer que la pellicule S 23, qui est légèrement favorisée, a subi, elle aussi, le traitement complet prévu pour les plaques du type R.

Utilisation des cellules de 500 μ *et* 1 000 μ :

Les mesures de flèches de la seconde série ($s = 100$ μ) ont été utilisées pour calculer les différences secondes $\overline{|\Delta_2|}$ correspondant à des cellules de 500 μ et de 1 000 μ. Dans le cas des cellules de 1 000 μ, on a utilisé la méthode du chevauchement.

Les bruits de lecture et de platine ε_{1p} pour ces deux longueurs de cellules ont été déterminés par la méthode précédemment indiquée. Les valeurs trouvées sont données dans le tableau 12 pour les deux types d'émulsions et les deux longueurs de cellules, ainsi que les valeurs expérimentales des rapports $\frac{\delta_1}{\delta_2}$, $\frac{\delta_3}{\delta_2}$, $\frac{\delta_4}{\delta_2}$ correspondants. Ces valeurs sont en bon accord avec les valeurs théoriques calculées pour le seul bruit de lecture, ce qui montre que la participation du bruit de platine est restée faible.

TABLEAU 12

Bruits de lecture et de platine ε_{2lp} en microns

Type de plaques	Long. de cellule	ε_{2lp}	δ_1/δ_2	δ_3/δ_2	δ_4/δ_2
R	500 µ	0,238 ± 0,037	0,549	1,858	3,517
R	1 000 µ	0,279 ± 0,070	0,589	1,745	3,281
G5	500 µ	0,182 ± 0,025	0,533	1,991	3,816
G5	1 000 µ	0,176 ± 0,074	0,594	1,735	3,470

Pour ces longueurs de cellules, la diffusion coulombienne vraie n'était plus négligeable ; on a calculé la valeur théorique de la différence seconde correspondante $\overline{|d_2|}$. Dans les plaques G5, on a pris pour base de ce calcul la valeur de la constante de diffusion donnée par Voyvodic et Pickup (12). Dans le cas des plaques du type R, cette constante a été multipliée par 1,11 pour tenir compte de la différence de densité.

La différence seconde moyenne de diffusion parasite est alors donnée par :

$$(\overline{|D_2|})^2 = (\overline{|\Delta_2|})^2 - (\varepsilon_{2lp})^2 - (\overline{|d_2|})^2$$

Ce sont ces valeurs corrigées qui sont données dans le tableau 13 pour chacune des trois tranches considérées et pour l'ensemble de chaque plaque.

TABLEAU 13

Valeurs arithmétiques moyennes des différences secondes de diffusion parasite pour les cellules de 500μ *et* 1 000μ
(les 3 tranches sont indiquées par I, II, III ; les lignes M du tableau portent les moyennes pour toute l'épaisseur de l'émulsion)

PLAQUES G5

		s = 500 μ	s = 1 000 μ
S 24	I	0,481 ± 0,101	1,942 ± 0,208
	II	0,821 0,088	2,567 0,239
	III	1,063 0,110	3,493 0,321
	M	0,826 0,053	2,105 0,148
S 23	I	0,524 ± 0,099	2,032 ± 0,192
	II	0,641 0,072	1,520 0,159
	III	1,338 0,130	3,137 0,287
	M	0,928 0,055	2,249 0,127
S 29	I	0,510 ± 0,097	1,029 ± 0,131
	II	0,560 0,099	1,204 0,135
	III	0,652 0,070	1,530 0,147
	M	0,568 0,084	1,281 0,081
S 27-28	I	0,676 ± 0,075	1,612 ± 0,176
	II	1,706 0,167	2,256 0,214
	III	0,706 0,073	2,202 0,222
	M	1,020 0,059	2,037 0,118
S 25	I	0,567 ± 0,101	1,910 ± 0,202
	II	1,490 0,169	2,054 0,204
	III	0,489 0,096	1,425 0,155
	M	0,834 0,054	1,797 0,107
S 31-32	I	0,494 ± 0,098	1,403 ± 0,176
	II	2,376 0,244	2,280 0,230
	III	0,538 0,099	1,069 0,132
	M	1,157 0,070	1,590 0,100

TABLEAU 13 (suite)

Valeurs arithmétiques moyennes des différences secondes de diffusion parasite pour les cellules de 500μ *et* 1 000μ
(les 3 tranches sont indiquées par I, II, III ; les lignes M du tableau portent les moyennes pour toute l'épaisseur de l'émulsion)

PLAQUES R

		$s = 500\ \mu$	$s = 1\,000\ \mu$
RS 15	I	0,402 ± 0,071	1,926 ± 0,196
	II	0,790 0,086	1,323 0,151
	III	1,469 0,166	1,688 0,177
	M	0,984 0,060	1,643 0,101
RS 14	I	0,342 ± 0.057	1,449 ± 0,159
	II	1,072 0,110	0,819 0,122
	III	1,025 0,107	1,926 0,203
	M	0,818 0,053	1,407 0,092
RS 21	I	0,438 ± 0,077	1,493 ± 0,166
	II	0,628 0,082	1,233 0,143
	III	1,196 0,124	1,743 0,183
	M	0,767 0,063	1,487 0,135
RS 18-19	I	0,313 ± 0,069	0,879 ± 0,141
	II	1,175 0,125	1,903 0,219
	III	1,127 0,126	1,732 0,197
	M	0,918 0,060	1,520 0,111
RS 20	I	0,480 ± 0,075	0,651 ± 0,124
	II	0,536 0,077	1,811 0,177
	III	2,611 0,265	4,367 0,371
	M	1,253 0,074	2,544 0,148

Les différences secondes de diffusion parasite pour des cellules de 500 μ et 1 000 μ ne sont pas directement comparables à celles obtenues pour 15 μ et 100 μ. Dans ces derniers cas, on admettait que les différences secondes caractérisaient les déformations ; il n'en est plus ainsi pour des cellules plus longues qui portent sur une longueur de trace en général supérieure à l'étendue d'une déformation. Dans ce cas, la différence seconde moyenne résulte de la contribution des deux types de déformations envisagés, associés éventuellement à des déformations plus étendues.

Les résultats obtenus permettent de confirmer quelques-unes des conclusions précédentes : le collage n° 2 se révèle le plus satisfaisant, ce qui est particulièrement marqué dans la tranche III des G5, et un glycérinage de 6 % associé à un séchage lent conduit à une diffusion parasite relativement faible et homogène dans toute l'épaisseur de la plaque.

Par contre, les différences secondes de diffusion parasite pour des cellules de 500 μ et 1 000 μ ne sont pas systématiquement supérieures dans les plaques R à celles des plaques G5.

4. — Conclusions

Les valeurs des différences secondes de diffusion parasite que nous avons trouvées sont notablement supérieures à celles qui ont été publiées, même en tenant compte du fait que nous n'avons pas effectué de coupure à quatre fois la valeur moyenne comme on le fait généralement. Nous avons eu récemment connaissance de résultats obtenus dans différents laboratoires (14) qui faisaient apparaître une diffusion parasite très faible. Dans certains cas elle serait même pratiquement négligeable. Ce qui montre que ce phénomène ne restreint pas, comme on avait pu le penser, les possibilités des émulsions nucléaires dans le domaine des hautes énergies.

Il faut remarquer que la technique de traitement que nous avons utilisée est un peu différente de celles en usage dans la plupart des laboratoires (14), particulièrement en ce qui concerne le séchage. Le séchage à l'alcool semble actuellement le plus courant. D'autre part, nous avons effectué le fixage à une température un peu plus basse que celle qui est habituellement pratiquée. Et un fixage à basse température serait générateur de distorsion « chopping » (14), ce qui, dans l'hypothèse d'un lien entre ce type de distorsion et la diffusion parasite pourrait justifier certains de nos résultats.

Si les causes de la diffusion parasite ne sont pas apparues nettement dans l'étude des différences secondes, nous pouvons cependant écarter quelques-unes des hypothèses avancées sur son origine.

Tout d'abord, les bactéries ne nous semblent pas en cause comme l'avaient suggéré certains auteurs, car le fait qu'elles prolifèreraient plus particulièrement dans certaines couches d'émulsion, paraît peu vraisemblable.

L'hypothèse des produits de fixage non éliminés pourrait être justifiée par les résultats de la plupart des plaques du type R qui sont apparues plus déformées près du verre. Mais ceci n'est pas confirmé pour l'ensemble des émulsions G5.

Le rôle joué par les conditions de séchage nous incite à penser que les déformations qui provoquent la diffusion parasite trouvent leur cause dans les tensions internes qui se créent dans la gélatine. Ces tensions peuvent être importantes et non homogènes dans le cas d'un séchage rapide dans lequel la faible vitesse de diffusion de l'eau ne peut équilibrer l'évaporation en surface. La non-homogénéité des tensions provoque des glissements dans les couches de gélatine qui entraînent un déplacement des grains développés.

Il est possible qu'une partie de ces tensions trouvent leur origine dans une contraction non homogène de l'émulsion lors du séchage final.

Il a en effet été constaté (13) que le facteur de contraction variait avec la profondeur de l'émulsion.

Nous espérons que des mesures systématiques du coefficient de contraction à la suite de traitements identiques à ceux que nous avons utilisés nous permettront de préciser ce point. De plus des mesures sont en cours dans plusieurs laboratoires sur des émulsions traitées dans des conditions rigoureusement précisées. La confrontation des résultats devrait permettre de faire apparaître les causes profondes de la diffusion parasite.

BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE IV

1. S. Biswas, B. Peters et Rama, *Proc. Ind. Acad. Sci.*, 1955, A 41, 154
2. H. Fay, *Zeits. f. Naturfor.*, 1955, 10 a, 572.
3. E. Lohrmann et M. Teucher, *Nuovo Cimento*, 1956, 3, 59.
4. F.A. Brisbout, C. Dahanayake, A. Engler, P.H. Fowler et P.B. Jones. *Nuovo Cimento*, 1956, 3, 1400.
5. A.J. Apostolakis, J.O. Clarke, J.V. Major, *Nuovo Cimento*, 1957, 5, 337.
6. S.Biswas, N. Durga Prasad et S. Mitra, *Proc. Ind. Acad. Sci.*, 1957, A 46, 167.
7. B. Judek, *Nuovo Cimento*, 1960, 16, 834.
8. B. Dépaux, S. Desprez-Rebaud et Tsai-Chü, *C.R.*, 1960, 250, 4343.
9. C.F. Powell, PH. Fowler et D.H. Perkins, *The Study of elementary particles by the Photographic Method*, Londres, 1959.
10. MM. Shapiro, *Handbuch der Physik*, Berlin, 1958, t. *XLV*, p. 342.
11. A. Bonetti, A.E. Sichirollo, *Photographie Corpusculaire II*, Montréal, 1959, p. 354.
12. Voyvodic et Pickup, *Phy. Rev.*, 1952, 85, 91.
13. W.M. Gibson et J.G. Mc Even, *Photographie Corpusculaire*, Paris, 1958, p. 371.
14. *Problems of distorsion in nuclear emulsions and scattering measurements at high energies*, An informal meeting held in Copenhagen, octobre 1960.
15. K.A. Iursunov, I. Ya Charmikov and K.V. Sharapov, *International Symposium on nuclear photography* (Moscou, 1960).

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Physique Corpusculaire de l'Université de Caen sous la direction de M. le Professeur SCHERER qui n'a cessé de me prodiguer ses conseils et ses encouragements. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

A M. le Professeur M. MORAND qui a accepté de faire partie du Jury, j'exprime ma vive reconnaissancse. Je tiens également à adresser mes remerciements :

A M. BERTHELOT, à Mme FARAGGI et aux membres de leurs services au C.E.A. pour les facilités offertes lors de différentes irradiations.

A M. BAKKER, directeur du C.E.R.N., qui nous a permis d'obtenir des émulsions N.I.K.F.I.

A Mlle C. PATOU, attachée de recherche, pour sa participation aux mesures sur la diffusion parasite et pour la collaboration utile qu'elle m'a apportée.

M. G. MUZELLEC m'a prêté pour la mise au point des graphiques un concours très apprécié.

Enfin ma femme m'a apporté, en de multiples occasions, une aide précieuse.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Le rayonnement cosmique primaire : Origine

Vu :

Le Président de la Thèse,

M. SCHERER

Vu :

Le Doyen,

N. LOZAC'H

Vu et permis d'imprimer :

Caen, le 17 avril 1961

Le Recteur,

Président du Conseil d'Université,

P. DAURE

TABLE DES MATIÈRES

PAGES

Introduction

1. — Problèmes posés par le traitement des émulsions nucléaires épaisses 5
2. — Méthodes de traitement des émulsions nucléaires 6
3. — Le voile : voile photographique ; voile γ 9
4. — Travaux sur le voile des émulsions nucléaires 12
5. — Buts et plan du travail 14
6. — Bibliographie de l'introduction 16

CHAPITRE I

Etude du voile formé dans un développement à froid par des révélateurs de différents pH

A. — *Expériences préliminaires*

Voile dans les 200 premiers microns d'émulsions de 400 μ et de 600 μ 17
1. — Exposition et traitement des plaques 17
2. — Méthode de comptage 19
3. — Résultats 20

B. — *Densités du voile développé à froid à différentes profondeurs*

1. — Exposition et traitement des plaques 22
2. — Méthode de comptage ; comparaison avec la précédente .. 25
3. — Résultats — Densité de grains et densité optique 27
4. — Interprétation des résultats 30
5. — Variations de la densité du voile avec la profondeur 34
6. — Conclusions 36
7. — Bibliographie du chapitre 1er 37

Dépôt légal
2e trimestre 1961
n° 64.229